

vek21.penzgtu.ru

18+

ISSN 2221-951X

# XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО *пнчос*



**2021**  
№ 2(54) Т. 10



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 Сания 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  
Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор  
Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор  
Васенев Иван Иванович, доктор биологических 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  
Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор  
Косников Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор  
Кручинина Наталия Евгеньевна, доктор технических наук, профессор  
Мамедова Тарана Аслан кызы, доктор технических наук, профессор  
Маскевич Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор  
Махмудова Любовь Ширваниевна, доктор технических наук, профессор  
Михеев Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор  
Первухина Елена Львовна, доктор технических наук, профессор  
Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор  
Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор  
Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор  
Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук,  
доктор химических 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

© ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 2021

Основан в 2011 г.

18+

Том 10  
№ 2 (54)  
2021

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 21.06.2021.  
Выход в свет 28.06.2021.  
Формат 60X84 1/8  
Печать ризография.  
Усл. печ. л. 23,2.  
Тираж 100 экз. Заказ № 180.

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 «Биотехнология и техносферная безопасность»

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

Мотовилов Олег Константинович, доктор технических наук, доцент, руководитель

(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)

Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасность жизнедеятельности»

(Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Россия)

Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор, проректор по научной работе

(Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Республика Казахстан)

Васенев Иван Иванович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология»

(РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия)

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Химическая технология и промышленная экология»

(Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия)

Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры товароведения и экспертизы товаров

(Сибирский университет потребительской кооперации, г. Новосибирск, Россия)

Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор,

декан факультета «Информационные технологии»

(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)

Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор,  
директор института информационных технологий и коммуникаций  
(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,  
заведующий кафедрой «Промышленная экология»  
(Российский государственный химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
г. Москва, 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. Миллионищикова, г.Грозный, Чеченская Республика)

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

Первухина Елена Львовна, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой информационных систем  
(Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия)

Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования»  
(Астраханский инженерно-строительный институт, 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)

Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории  
информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС  
(Академия гражданской защиты МЧС России, г. Москва, Россия)

Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук, доктор химических наук,  
профессор, генеральный 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)

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

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология»  
(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, заведующий кафедрой «Физика»  
(Московский авиационный институт, г. Москва, Россия)

Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии  
(Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия)



## СОДЕРЖАНИЕ

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

<b>ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ</b>	
Киселев Сергей Константинович, Чан Ван Туан.....	12
<b>АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ НА МИРОВЫХ ФИНАНСОВЫХ РЫНКАХ</b>	
Пащенко Александр Дмитриевич.....	16
<b>ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ</b>	
Карпухин Эдуард Владимирович, Дементьева Елена Сергеевна.....	21
<b>АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И АНАЛИЗА МЕСТ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ</b>	
Костин Алексей Владимирович.....	25
<b>ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И МОДЕРАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ</b>	
Бутаев Михаил Матвеевич, Мартышкин Алексей Иванович.....	30
<b>МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ РЕГИОНА</b>	
Кузнецова Елена Валентиновна.....	35
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГИБКОЙ НИТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНОГО УДАРА</b>	
Тарасов Денис Александрович, Коновалов Владимир Викторович, Данилов Александр Леонидович, Бобылев Анатолий Иванович.....	40
<b>АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ РЕГИОНА</b>	
Костин Алексей Владимирович, Гучкин Илья Игоревич.....	44
<b>ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЯМЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ</b>	
Карпухин Эдуард Владимирович, Дементьева Елена Сергеевна.....	50
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕДУЦИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА</b>	
Цветова Екатерина Владимировна, Ковальногов Владислав Николаевич, Хахалев Юрий Андреевич.....	54
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И УЧЕТА МУСОРА НА ТЕРРИТОРИИ МУНИЦИПАЛИТЕТА</b>	
Казаков Олег Дмитриевич, Азаренко Наталья Юрьевна.....	59
<b>МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ РЕЙТИНГА ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ</b>	
Позднякова Татьяна Николаевна.....	67

<b>ЦИФРОАНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ТОНАЛЬНЫМИ ТРАКТАМИ</b> Кожевников Алексей Александрович.....	73
<b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКА ЗАТОРОВ В ДОРОЖНОЙ СЕТИ</b> Азарченков Андрей Анатольевич, Марченков Николай Игоревич.....	78
<b>АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ</b> Тукмаков Дмитрий Алексеевич.....	85
<b>ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНДУСТРИИ 4.0</b> Шайхулова Айгуль Фазировна, Селиванов Сергей Григорьевич.....	92
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ КОНТЕНТА СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ</b> Мартышкин Алексей Иванович, Маркин Евгений Игоревич, Зупарова Валентина Владимировна.....	96
<b>АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО РАССТАНОВКЕ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ</b> Стативко Роза Усмановна, Коломышцева Елена Павловна.....	101
<b>АНСАМБЛЕВЫЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧЕ МНОКОКЛАССОВОЙ SVM-КЛАССИФИКАЦИИ</b> Костров Борис Васильевич, Баранчиков Алексей Иванович, Клюева Ирина Алексеевна .....	105
<b>ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ</b>	
<b>ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ <math>\beta</math>-ГЛЮКАНОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ В КАЧЕСТВЕ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК. ОБЗОР</b> Школьникова Марина Николаевна, Пономарев Аркадий Сергеевич.....	109
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЭЖХ-МС/МС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОВ ГРУППЫ АМФЕНИКОЛОВ В ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА</b> Гармашов Сергей Юрьевич, Чашлыгина Ольга Сергеевна.....	113
<b>РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА НА ФЕРМАХ</b> Зайцев Петр Владимирович, Зайцев Сергей Петрович, Зайцева Надежда Петровна.....	118
<b>ИЗМЕНЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСА РЖАНО-ПШЕНИЧНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРЯНО-АРОМАТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ</b> Давыденко Наталия Ивановна, Голуб Ольга Валентиновна, Ульянова Галина Сергеевна.....	122
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ КАРОТИНОИДОВ АПЕЛЬСИНОВЫХ СОКОВ И НЕКТАРОВ</b> Нилова Людмила Павловна, Малюгенкова Светлана Михайловна, Арсирий Анастасия Григорьевна, Мухутдинов Руслан Рамильевич.....	127
<b>LITCHI CHINENSIS КАК ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ</b> Помозова Валентина Александровна, Шкрабтак Наталья Викторовна, Фролова Нина Анатольевна.....	132
<b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПИЦЦЫ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b> Ермошин Николай Алексеевич, Романчиков Сергей Александрович, Каштанов Юрий Юрьевич, Абушинов Эльвг Вячеславович.....	136

<b>РАСЧЕТ МЕМБРАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МИКРОФИЛЬТРАЦИИ ОВОЩНЫХ СОКОВ</b> Кувшинова Ольга Александровна, Кувшинов Алексей Николаевич, Носков Евгений Вадимович, Зайцев Вячеслав Олегович.....	141
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ВИДА СЫРЬЯ В РЕЦЕПТУРАХ ТЕСТОВОЙ ОБОЛОЧКИ БЛИНЧИКОВ</b> Смольянова Аля Павловна, Волошина Марина Олеговна, Селезнева Елена Сергеевна.....	147
<b>СОЗДАНИЕ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ФЕНИЛКЕТОНУРИЕЙ</b> Грищенко Анна Васильевна, Быченкова Валерия Владимировна, Сафонова Эльвира Эмильевна, Иванченко Ольга Борисовна.....	152
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА КУКУРУЗНОЙ И ОВСЯНОЙ КРУПЫ</b> Кадырбердиева Разия Маликовна.....	157
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ <i>SCHISANDRA CHINENSIS</i> В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ</b> Фролова Нина Анатольевна, Резниченко Ирина Юрьевна, Помозова Валентина Александровна.....	161
<b>РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПЕЛЬМЕНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯСА КРОЛИКА И КАБАЧКА</b> Зачесова Инесса Александровна, Шагаева Наталья Николаевна, Федулова Юлия Сергеевна.....	164
<b>АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ В РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ</b> Аббасов Мугабил Ширмамед оглы.....	169
<b><i>БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА</i></b>	
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ СИГНАЛИЗАЦИИ ЗАДНЕГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ</b> Дмитриев Михаил Сергеевич, Хасанова Марина Леонидовна, Руднев Валерий Валентинович.....	173
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ</b> Андреев Андрей Викторович, Доронин Александр Сергеевич.....	178
<b>ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» НА ПРИМЕРЕ СЕЯЛКИ СЗС-2.1 ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ</b> Попова Анна Георгиевна, Запорощенко Елена Витальевна.....	183
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</b> Каверзнева Татьяна Тимофеевна, Дзюба Никита Павлович.....	188
<b>МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ В УСТАНОВКАХ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ</b> Михайлова Валерия Игоревна, Ивахнюк Григорий Константинович.....	193
<b>ВЛИЯНИЕ ПЛОЩАДИ ОБВАЛОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ОБЛАКОВ ПРИ ПРОЛИВАХ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА</b> Николенко Татьяна Михайловна, Ефремов Сергей Владимирович.....	198

---

<b>МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННОГО РИСКА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ</b> Симонова Марина Александровна, Новиков Алексей Витальевич.....	203
<b>МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ ТРАВМАТИЗМА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ ПО ВИНЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА</b> Субботина Надежда Андреевна, Нам Галина Евгеньевна, Гончарук Татьяна Николаевна.....	210
<b>ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ НА СКЛАДАХ СУГ И СПГ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА</b> Пелех Михаил Теодозиевич, Симонова Марина Александровна.....	216
<b>АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗГОРАНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА</b> Нарусова Елена Юрьевна, Стручалин Владимир Гайозович, Назина Наталья Сергеевна.....	222
<b>МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕУРСА ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ</b> Староконь Иван Викторович, Шалатонов Александр Владимирович, Фомин Роман Сергеевич.....	227
<b>АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ</b> Елисеев Дмитрий Васильевич, Лапин Павел Алексеевич, Копылов Сергей Александрович, Король Владимир Вячеславович.....	232
<b>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ АДСОРБЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДСОРБЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД</b> Борисков Дмитрий Евгеньевич, Комарова Надежда Алексеевна, Курочкина Ольга Геннадьевна, Куликова Ольга Анатольевна, Кузьмин Антон Алексеевич.....	236
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОИСКА ПРОПАВШИХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ</b> Фролова Нина Анатольевна.....	240

## CONTENT

*INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING*

<b>DATA ACCURACY ASSESSMENT SATELLITE NAVIGATION SYSTEM FOR CONTROLLING THE MOTION OF GROUND MOBILE ROBOTS</b> Kiselev Sergey Konstantinovich, Van Tuan Tran.....	12
<b>ANALYSIS OF MODERN TRENDS IN GLOBAL FINANCIAL MARKETS</b> Pashchenko Alexander Dmitrievich.....	16
<b>GENERALIZED METHOD OF MATHEMATICAL SIMULATION OF MAGNETIC FIELDS OF MAGNETOSTRICTIONAL DISPLACEMENT CONVERTERS</b> Karpukhin Eduard Vladimirovich, Dementyeva Elena Sergeevna.....	21
<b>ALGORITHM FOR CLUSTERING AND ANALYZING TRAFFIC ACCIDENT LOCATIONS</b> Kostin Aleksey Vladimirovich.....	25
<b>BASIC METHODS OF AUTOMATIC PROCESSING AND MODERATION OF TEXT DATA IN SOCIAL NETWORKS</b> Butaev Mikhail Matveyevich, Martyshkin Alexey Ivanovich.....	30
<b>METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE EFFICIENCY OF GEOLOGICAL EXPLORATION WORKS IN THE CONTROL SYSTEM OF THE REGIONAL MINERAL RESOURCES COMPLEX</b> Kuznetsova Elena Valentinovna.....	35
<b>DETERMINATION OF THE REGION OF CARRYING CAPACITY OF A FLEXIBLE THREAD DURING ACTION CROSS IMPACT</b> Tarasov Denis Aleksandrovich, Konovalov Vladimir Viktorovich, Danilov Alexander Leonidovich, Bobylev Anatoly Ivanovich.....	40
<b>AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING AND FORECASTING THE STATE OF WATER SUPPLY SOURCES IN SMALL SETTLEMENTS IN THE REGION</b> Kostin Aleksey Vladimirovich, Guchkin Ilya Igorevich.....	44
<b>GENERALIZED METHOD OF MATHEMATICAL SIMULATION OF DIRECT MAGNETOSTRICTIONAL PHENOMENA DURING OPERATION OF MAGNETOSTRICTIONAL DISPLACEMENT CONVERTERS</b> Karpukhin Eduard Vladimirovich, Dementyeva Elena Sergeevna.....	50
<b>MODELING AND RESEARCH OF THE PROCESS OF GAS DYNAMIC TEMPERATURE STRATIFICATION TO INCREASE THE EFFICIENCY OF REDUCING NATURAL GAS</b> Tsvetova Ekaterina Vladimirovna, Kovalnogov Vladislav Nikolaevich, Khakhalev Yuriy Andreyevich.....	54
<b>INTELLIGENT SYSTEM FOR DETECTION AND ACCOUNTING OF GARBAGE IN THE TERRITORY OF THE MUNICIPALITY</b> Kazakov Oleg Dmitrievich, Azarenko Natalia Yurievna.....	59
<b>METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE FORMATION OF THE RATING OF MEDICAL AND PREVENTIVE INSTITUTIONS</b> Pozdnyakova Tatyana Nikolaevna.....	67
<b>DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTERS WITH TONE PATHS</b> Kozhevnikov Aleksey Aleksandrovich.....	73



<b>MATHEMATICAL ESTIMATION OF TRAFFIC CONGESTIONS RISKS IN ROAD NETWORK</b> Azarchenkov Andrey Anatolyevich, Marchenkov Nikolay Igorevich.....	78
<b>ANALYSIS OF RESEARCH ON MATHEMATICAL SIMULATION AND TECHNICAL APPLICATIONS PHYSICAL AND MECHANICAL PROCESSES IN DISPERSED MEDIA</b> Tukmakov Dmitry Alekseevich.....	85
<b>DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGY DEVELOPMENT FOR INDUSTRY 4.0</b> Shaykhulova Aigul Fazirovna, Selivanov Sergey Grigorievich.....	92
<b>RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE MODULE FOR AUTOMATIC TRACKING OF SOCIAL MEDIA CONTENT</b> Martyshkin Alexey Ivanovich, Markin Evgeniy Igorevich, Zuparova Valentina Vladimirovna.....	96
<b>DECISION SUPPORT ALGORITHM FOR INSTALLATION OF INDOOR MOTION SENSORS</b> Stativko Roza Usmanovna, Kolomytseva Elena Pavlovna.....	101
<b>THE ENSEMBLE METHODS IN THE MULTI-CLASS SVM CLASSIFICATION PROBLEM</b> Kostrov Boris Vasilievich, Baranchikov Aleksey Ivanovich, Klyueva Irina Alekseevna.....	105

### ***FOOD TECHNOLOGY***

<b>APPLICATION OF <math>\beta</math>-GLUCAN CONCENTRATES FROM VARIOUS RAW SOURCES AS FOOD ADDITIVES. REVIEW</b> Shkolnikova Marina Nikolaevna, Ponomarev Arkady Sergeevich.....	109
<b>USING THE HPLC-MS/MS METHOD TO DETERMINE THE ANTIBIOTICS AMPHENICOLS GROUP IN LIVESTOCK PRODUCTS</b> Garmashov Sergey Yurievich, Chaplygina Olga Sergeevna.....	113
<b>RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR COOLING MILK ON FARMS</b> Zaytsev Peter Vladimirovich, Zaitsev Sergey Petrovich, Zaitseva Nadezhda Petrovna.....	118
<b>ON THE USE OF AROMATIC RAW MATERIALS AS A SOURCE OF ANTIOXIDANTS IN THE RYE-WHEAT BREAD</b> Davydenko Natalia Ivanovna, Golub Olga Valentinovna, Ulyanova Galina Sergeevna.....	122
<b>RESEARCH OF CAROTENOIDS IN ORANGE JUICES AND NECTARS</b> Nilova Liudmila Pavlovna, Malyutenkova Svetlana Michailovna, Arsirii Anastasia Grigorievna, Mukhametdinov Ruslan Ramil'evich.....	127
<b>LITCHI CHINENSIS AS A BIOLOGICALLY SOURCE ACTIVE SUBSTANCES</b> Pomozova Valentina Aleksandrovna, Shkrabtak Natalya Viktorovna, Frolova Nina Anatolievna.....	132
<b>ENSURING THE OPERABILITY OF TECHNICAL MEANS OF COOKING IN LOW AMBIENT TEMPERATURES</b> Ermoshin Nikolai Alekseevich, Romanchikov Sergey Aleksandrovich, Kashtanov Yuri Yurievich, Abushinov Elvg Vyacheslavovich.....	136
<b>CALCULATION OF THE MEMBRANE APPARATUS FOR MICROFILTRATION OF VEGETABLE JUICES</b> Kuvshinova Olga Aleksandrovna, Kuvshinov Aleksey Nikolaevich, Noskov Evgeniy Vadimovich, Zaitsev Vaycheslav Olegovich.....	141

<b>THE USE OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS IN RECIPES TEST SHELL OF PANCAKES</b> Smolyanova Alya Pavlovna, Voloshina Marina Olegovna, Selezneva Elena Sergeevna.....	147
<b>CREATION OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS FOR NUTRITION OF PATIENTS WITH PHENYLKETONURIA</b> Grishchenko Anna Vasilyevna, Bychenkova Valeria Vladimirovna, Safonova Elvira Emilyevna, Ivanchenko Olga Borisovna.....	152
<b>RESEARCH OF AMINO ACID COMPOSITION OF CORN AND OATMEAL</b> Kadyrberliyeva Raziya Malikovna.....	157
<b>USE OF <i>SCHISANDRA CHINENSIS</i> PRODUCTS IN CONFECTIONERY PRODUCTION</b> Frolova Nina Anatolyevna, Reznichenko Irina Yurievna, Pomozova Valentina Aleksandrovna.....	161
<b>DEVELOPMENT OF A RECIPE FOR DUMPLINGS USING RABBIT MEAT AND ZUCCHINI</b> Zachesova Inessa Alexandrovna, Shagaeva Natalia Nikolaevna, Fedulova Yulia Sergeevna.....	164
<b>ALGORITHMS FOR AUTOMATING THE PROCESSING OF FISH PRODUCTS IN THE FISHERIES COMPLEX</b> Abbasov Mugabil Shirmamed oglu.....	169
 <b><i>HUMAN ACTIVITY SAFERY</i></b>  	
<b>DETERMINING THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE TRUCKS REVERSE SIGNALS SETTINGS</b> Dmitriev Mikhail Sergeevich, Khasanova Marina Leonidovna, Rudnev Valery Valentinovich.....	173
<b>PROSPECTS FOR USING NEURAL NETWORKS TO INCREASE THE RELIABILITY OF FIRE SAFETY SYSTEMS</b> Andreev Andrey Viktorovich, Doronin Alexander Sergeevich.....	178
<b>IDENTIFICATION OF RISKS OF THE "MAN-MACHINE" SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE SZS-2.1 SEEDER WHEN ASSESSING THE SAFETY OF AGRICULTURAL MACHINERY</b> Popova Anna Georgievna, Zaporoshchenko Elena Vitalievna.....	183
<b>PROSPECTS FOR THE USE OF SOLAR CELLS IN THE CONSTRUCTION OF ACOUSTIC SCREENS IN THE RUSSIAN FEDERATION</b> Kaverzneva Tatyana Timofeevna, Dzyuba Nikita Pavlovich.....	188
<b>METHOD OF USING HYDROGEL IN THERMAL PROTECTION INSTALLATIONS FOR PETROLEUM TANKS</b> Mikhailova Valeria Igorevna, Ivakhnyuk Grigory Konstantinovich.....	193
<b>INFLUENCE OF THE COLLAPSE AREA ON THE FORMATION AND PROPAGATION OF DANGEROUS CLOUDS IN THE CASE OF LIQUEFIED NATURAL GAS SPILLS</b> Nikolenko Tatiana Mikailovna, Efremov Sergey Vladimirovich.....	198
<b>METHODOLOGY OF INDUSTRIAL RISK ASSESSMENT WHEN HANDLING LOADS BY LIFTING MACHINES</b> Simonova Marina Aleksandrovna, Novikov Alexey Vitalievich.....	203
<b>METHODOLOGICAL APPROACHES TO REDUCE INJURIES ON CONSTRUCTION SITE DUE TO THE HUMAN FACTOR</b> Subbotina Nadezhda Andreevna, Nam Galina Evgenievna, Goncharuk Tatiana Nikolaevna.....	210

<b>FEATURES OF LOCALIZATION AND ELIMINATION OF FIRES IN LPG AND LNG WAREHOUSES IN RESERVOIRS IN THE ARCTIC ZONE</b> Pelekha Mikhail Teodozievich, Simonova Marina Aleksandrovna.....	216
<b>ANALYSIS OF THE CAUSES OF FIRE OF TRACTION ROLLING STOCK</b> Elena Yurievna Narusova, Vladimir Gaiozovich Struchalin, Nazina Natalia Sergeevna.....	222
<b>METHODS FOR ASSESSING THE RESOURCE OF OBJECTS OF THE OIL AND GAS COMPLEX OF RUSSIA</b> Starokon Ivan Viktorovich, Shalatonov Alexander Vladimirovich, Fomin Roman Sergeevich.....	227
<b>ANALYSIS AND FORECASTING OF EMERGENCY SITUATIONS AT POTENTIALLY DANGEROUS FACILITIES IN THE OREL REGION</b> Eliseev Dmitry Vasilyevich, Lapin Pavel Alekseevich, Kopylov Sergey Aleksandrovich, Korol Vladimir Vyacheslavovich.....	232
<b>ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF ADSORBENT MODIFICATION ON THE EFFICIENCY OF ADSORPTION OF HEAVY METALS AFFECTING THE QUALITY OF NATURAL WATER</b> Boriskov Dmitriy Evgenievich, Komarova Nadezhda Alekseevna, Kurochkina Olga Gennadievna, Kulikova Olga Anatolievna, Kuzmin Anton Alekseevich.....	236
<b>USE OF EFFECTIVE METHODS FOR SEARCHING FOR THE MISSED IN PERFORMANCE OF EMERGENCY RESCUE OPERATIONS</b> Frolova Nina Anatolievna.....	240

УДК 629.058

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0001

## ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

© 2021

**Киселев Сергей Константинович**, доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы»

**Чан Ван Туан**, аспирант

*Ульяновский государственный технический университет*

*(432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, e-mails: ksk@ulstu.ru, bhkqvn@gmail.com)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы определения случаев нарушения целостности навигационных данных при движении наземных мобильных роботов, использующих для управления спутниковую навигационную систему. Указаны особенности движения наземного робота, которые влияют на организацию контроля целостности данных. Предложен алгоритм контроля, реализующий методы автономного бортового контроля целостности данных навигационных систем. Алгоритм построен на основе уравнений соответствия сигналов в различных частях системы управления. Алгоритм предназначен для определения неработоспособности спутниковой навигационной системы, выражающейся в потере сигнала и невозможности решения навигационной задачи. Алгоритм учитывает недетерминированный характер движения наземного робота с возможными остановками в процессе следования по траектории. Рассмотрены варианты реализации алгоритма оценки достоверности для системы управления, содержащей дополнительные датчики перемещения робота и для аппаратно-безызыбыточной системы, не содержащей дополнительных датчиков. Представлены результаты моделирования движения наземного мобильного робота по произвольной траектории при возникновении случаев нарушения целостности навигационных данных. По результатам моделирования показаны особенности работы алгоритма. Предложены возможные варианты использования алгоритма для уменьшения отклонений робота от желаемой траектории.

**Ключевые слова:** наземный мобильный робот, система управления, спутниковая навигационная система, движение, навигационные данные, целостность, моделирование, алгоритм.

## DATA ACCURACY ASSESSMENT SATELLITE NAVIGATION SYSTEM FOR CONTROLLING THE MOTION OF GROUND MOBILE ROBOTS

© 2021

**Kiselev Sergey Konstantinovich**, doctor of Technical Sciences, associate Professor,  
head of the Department of Measuring and Computing Complexes

**Van Tuan Tran**, PhD student

*Ulyanovsk State Technical University*

*(432027, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets St., 32, e-mails: ksk@ulstu.ru, bhkqvn@gmail.com)*

**Abstract.** The article deals with the issues of determining cases of violation of the integrity of navigation data during the movement of ground mobile robots using a satellite navigation system for control. The features of the movement of the ground robot, which affect the organization of data integrity control, are indicated. A monitoring algorithm is proposed that implements the methods of Airborne Autonomous Integrity Monitoring of navigation systems data. The algorithm is based on the equations of the correspondence of signals in various parts of the control system. The algorithm is designed to determine the inoperability of the satellite navigation system, which is expressed in the loss of signal and the impossibility of solving the navigation problem. The algorithm takes into account the non-deterministic nature of the movement of the ground robot with possible stops in the process of following the trajectory. Variants of the implementation of the algorithm for assessing the reliability for the control system containing additional sensors of the robot's displacement and for the hardware-redundant system that does not contain additional sensors are considered. The results of modeling the movement of a ground mobile robot along an arbitrary trajectory in the event of violation of the integrity of navigation data are presented. Based on the simulation results, the features of the algorithm are shown. Possible options for using the algorithm to reduce deviations of the robot from the desired trajectory are proposed.

**Keywords:** ground mobile robot, control system, satellite navigation system, movement, navigation data, integrity, modeling, algorithm.

**Введение.** В настоящее время в системах управления тракторным движением наземных автономных мобильных роботов для определения местоположения часто используется приемник спутниковой навигационной системы (СНС). Основными преимуществами использования СНС являются высокая точность опре-

деления координат, малое время готовности устройства, отсутствие накопления погрешностей, простота использования и относительно низкая стоимость бортового приемника СНС [1, 2].

При этом есть и определенные недостатки - результаты измерений подвержены случайным помехам

и потере сигнала. Информация о текущем положении робота на выходе приемника СНС не обновляется, когда количество доступных спутников недостаточно для решения навигационной задачи. Причиной этого может быть, например, потеря связи со спутниками, которая возникает достаточно часто при движении робота по существенно неровной местности или в условиях городской застройки либо при его перемещении внутри некоторого помещения [3].

Таким образом, потери сигнала СНС приводят к нарушению целостности навигационных данных, что может существенно повлиять на точность следования робота по заданной траектории и нарушить выполнение им своих функций [4].

В наиболее ответственных применениях, например, в авиации, для контроля целостности навигационных данных реализуют так называемые функциональные дополнения СНС – внешние методы контроля, когда контроль проводится либо на главной станции управления СНС, либо на контрольно-корректирующей станции. Процедура внешнего контроля достаточно сложна, поскольку требует создания и использования наземной сети [5].

Для мобильных роботов более приемлемым является использование методов, которые позволяют автономно контролировать целостность навигационных данных – методов бортового контроля целостности *AAIM* (*Airborne Autonomous Integrity Monitoring*) [6]. Большинство существующих алгоритмов автономного контроля целостности навигационных данных основано на методах статистической теории радиотехнических устройств, например, методе оценок (максимального отличия решения; сравнения дальности; сравнения местонахождения; невязки по методу наименьших квадратов) и фильтрационных методах [7].

Движение наземного робота при выполнении функциональной задачи является, как правило, недетерминированным процессом. В структуре системы управления роботом обычно присутствуют устройства, которые обеспечивают оценку складывающейся ситуации и изменение параметров и траектории движения. Так, например, в мобильных роботах «Инженер» производства компании «Сервосила» в системе управления используются лазерный сканер, инерциальные датчики, датчики одометрии, система стереозрения и приемник спутниковой навигации [8]. При этом лазерный сканер и система стереозрения предназначены для обнаружения препятствий и корректировки траектории движения для избегания столкновений с ними. Для локализации робота в пространстве используются инерциальные датчики, датчики одометрии, приемник спутниковой навигации.

Таким образом, задача управления плоским движением наземного робота имеет ту особенность, что в процессе выполнения функций робот может неоднократно останавливаться на неопределенное время в разных, заранее неизвестных точках траектории и затем продолжать движение. Такие остановки могут

привести к тому, что при использовании автономных алгоритмических методов оценки навигационных данных может быть сформирован ложный сигнал об их достоверности.

Для корректного обнаружения недостоверности навигационных данных СНС необходимо учитывать дополнительную информацию о параметрах движения мобильного робота. Для решения задачи оценки достоверности навигационных данных, получаемых с СНС в системе управления наземным мобильным роботом, предлагается использовать методы обнаружения неисправностей на основе уравнений соответствия [9, 10].

**Материалы и результаты исследования.** Если, например, робот приводится в движение двумя независимыми ведущими колесами, каждое из которых приводится во вращение собственным электродвигателем, то величина продольной скорости движения робота  $V_{np}$  определяется как средняя скорость линейного перемещения каждого из колес:

$$V_{np} = \frac{(\omega_n + \omega_l)}{2} r_k.$$

где:  $\omega_n, \omega_l$  – угловые скорости вращения правого и левого ведущих колес, соответственно;  $r_k$  – радиус колеса. Тогда за некоторое время  $\Delta t = t_2 - t_1$  робот преодолет расстояние приблизительно равное  $S_1 = V_{np} \Delta t$ .

Когда СНС работает без потери сигнала, то на выходе приемника в момент  $t_1$  будут координаты  $X_1, Y_1$ , а в момент  $t_2$ , соответственно,  $X_2, Y_2$ , и расстояние, на которое переместится робот за  $\Delta t$  будет равно  $S_2$ :

$$S_2 = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}.$$

Необходимо в процессе движения робота постоянно отслеживать отношение  $S = S_2/S_1$ , которое при правильной работе СНС будет приблизительно постоянным ( $S \approx const$ ). Если же нарушится целостность данных, причиной которой будет потеря приемником СНС сигнала, то координаты на выходе приемника не изменятся и  $S_2$ , а, соответственно, и  $S$ , будут равны нулю. Для вычисления  $S$  необходимо знать угловые скорости вращения правого и левого ведущих колес  $\omega_n, \omega_l$ , т.е. использовать информацию с одометров.

Алгоритм не изменится, если вместо угловых скоростей вращения колес использовать управляющие напряжения на двигатели  $U_n$  и  $U_l$ , соответственно, т.к. при равномерном движении скорости вращения колес пропорциональны управляющим напряжениям. Оценка достоверности данных СНС в этом случае ведется по сигналу  $S' = S_2/S'_1$ , где

$$S'_1 = \frac{(U_n + U_l)}{2} \Delta t.$$

Такой вариант алгоритма может быть реализован, когда система управления робота является аппаратно-безызбыточной и не содержит дополнительных датчиков перемещения робота.

Описание модели наземного мобильного робота с системой управления на базе СНС. Для оценки работы предложенного алгоритма в среде в систем *Simulink* и *MatLab* [11] был смоделирован наземный мобильный робот с системой управления на базе СНС



(рис. 1). Моделировалось движение трехколесного робота с двумя независимыми ведущими колесами (блок "Модель робота"), подобного описанному в [12]. Модель робота была дополнена моделью СНС (блок "Модель СНС") [13]. При движении робота по заданной траектории в данные о его координатах модели СНС в случайные моменты времени вводились случайные по длительности интервалы потери сигнала ("Блок моделирования потери сигнала") [14]. Моделировалось движение робота по произвольной траектории (блок "Заданная траектория") [15]. Оценка достоверности навигационных данных СНС проводилась по сигналу  $S'$ , полученному через управляющие напряжения на двигателях робота по его модели.

Результаты моделирования алгоритма. При нор-

мальном без пропусков сигнале СНС робот следовал по заданной траектории на плоскости  $XU$  с допустимыми погрешностями, определяемыми, во-первых, собственной динамикой робота, и, во-вторых, погрешностями определения положения, заданными в модели СНС. При задании интервалов потери сигнала СНС траектория движения робота отличалась от заданной, так как в этих интервалах координаты робота на выходе "Блока моделирования потери сигнала" не обновлялись в соответствии с его перемещением и, следовательно, управляющий сигнал в системе формировался неправильно (рис. 2). При восстановлении правильных координат на выходе СНС робот возвращается к заданной траектории и погрешность его позиционирования уменьшается.

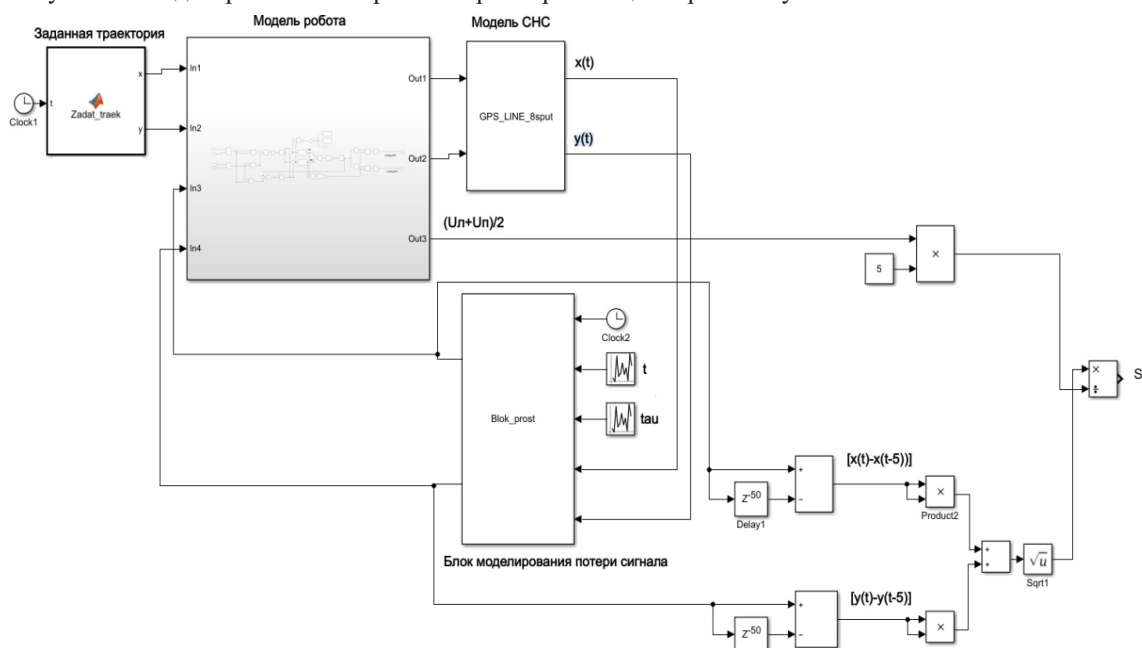


Рисунок 1 – Модель мобильного робота с системой управления на базе СНС

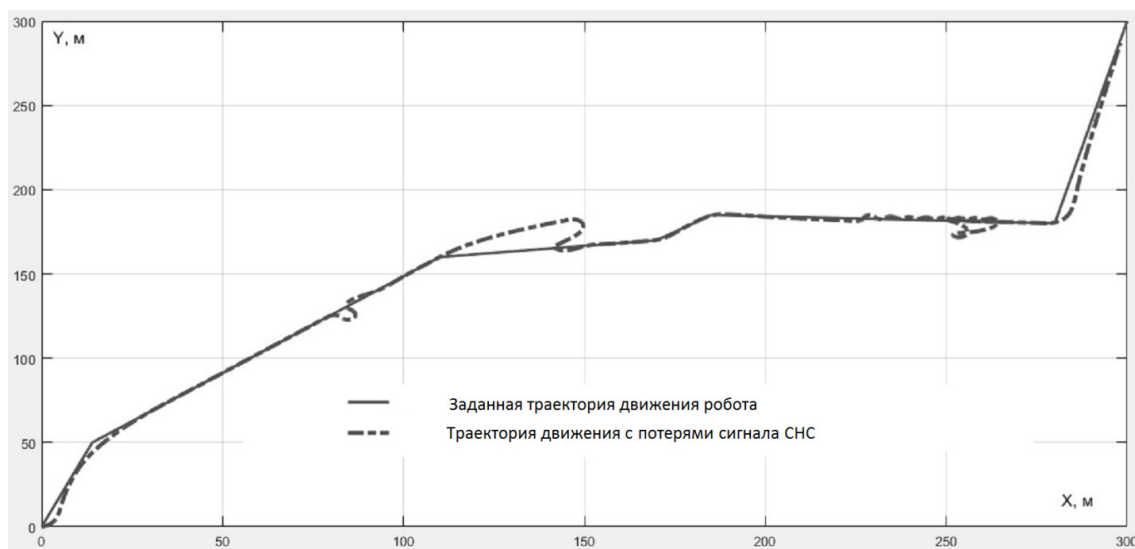


Рисунок 2 – Траектории движения робота

Общее время движения робота по траектории, приведенной на рисунке 2, составляло 7000 секунд. Для вычисления  $S_2$  и  $S'_1$  использовался интервал  $\Delta t=5$

секундам. Результаты работы алгоритма оценки достоверности навигационных данных СНС приведены на рисунке 3.

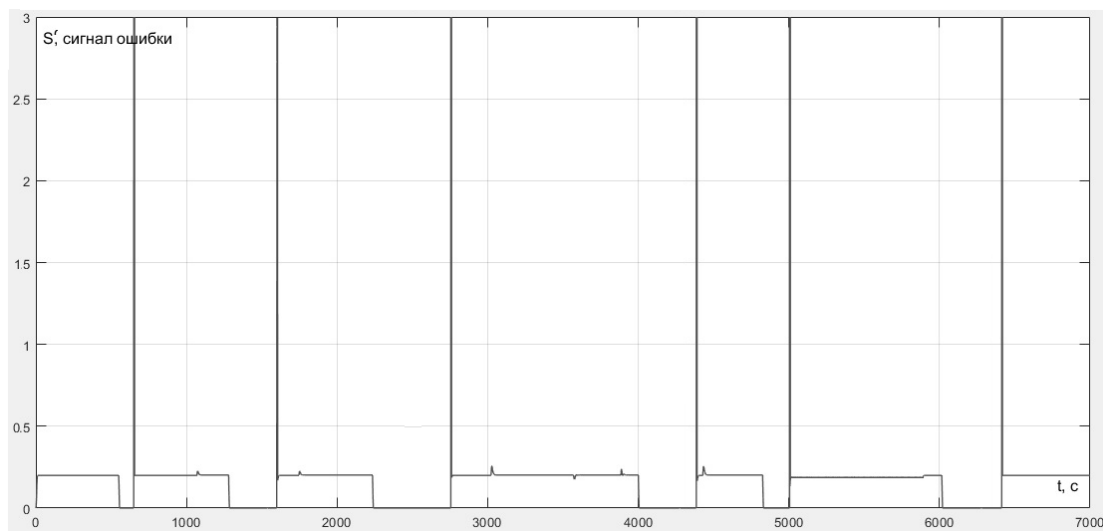


Рисунок 3 – Результаты определения интервалов недостоверности данных в СНС

На рисунке 3 видно, что в те моменты, когда в данных с СНС возникали потери сигнала величина  $S' = 0$ . В конце каждого интервала потери сигнала СНС восстанавливает работоспособность и измеряет положение робота, в которое он успел переместиться за время потери сигнала, что вызывает импульсное изменение  $S'$ .

**Заключение.** По результатам моделирования движения наземного мобильного робота можно сделать вывод, что предложенный алгоритм оценки достоверности данных СНС позволяет определять интервалы потери сигнала. По значению сигнала  $S$  (или  $S'$ ) можно своевременно переходить на управление от других датчиков, например, одометров, а при восстановлении корректности данных снова возвращаться к управлению от СНС.

Если система управления движением робота является аппаратурно-безызбыточной и не содержит дополнительных датчиков перемещения робота, то для исключения слишком больших отклонений от заданной траектории, можно, например, на время потери сигнала в СНС прекращать движение робота, а при восстановлении целостности данных продолжать движение. Такой вариант управления движением будет эффективен, если потеря сигнала на выходе СНС произошла по причине отсутствия связи с достаточным количеством спутников. По прошествии некоторого времени спутники изменят свое положение, сигнал восстановится, координаты будут определены, и робот сможет продолжить движение по траектории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Jurišica, Ladislav & Duchoň, František & Kastan, Dusan & Babinec, Andrej. (2012). High Precision GNSS Guidance for Field Mobile Robots. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 9.1.10.5772/52554.
2. Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики // Молодой ученый. – 2015. – № 9 (89). – С. 298-302. – URL: <https://moluch.ru/archive/89/18270/> (дата обращения: 18.04.2021).
3. Серапинас Б.Б. Глобальные системы позиционирования. – М.: Каталог, 2002. – 106 с.
4. Дмитриев С.П., Колесов Н.В., Осипов А.В. Информа-

ционная надежность, контроль и диагностика навигационных систем. – СПб: ГНЦ РФ ОАО "Концерн "ЦНИИ Электроприбор", 2004. – 208 с.

5. Михайлов С. Анализ направлений и состояния разработок функциональных дополнений к спутниковым радионавигационным системам / С. Михайлов, В. Кульнев // *Беспроводные технологии*. – 2006. – №3 (04). – С. 61 – 69.

6. Иванов, А. В. Автономные системы контроля целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем / А. В. Иванов // *Радиотехника*. – 2014. – № 7. – с. 55–64.

7. Иванов, А.В. Автономный контроль целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем методами сравнения и невязок / А.В Иванов, А.П. Негуляева, С.П. Москвитин // *Вестник ТГТУ*. – 2016. – Том 22. № 3. – С. 358–367.

8. Мобильные роботы Сервосила «Инженер». [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <https://www.servosila.com/media/doc-ru/Servosila-Mobile-Robots-Engineer-Brochure-Rus.pdf> (дата обращения: 11.03.2021).

9. Изерман, Р. Перспективные методы контроля, обнаружения и диагностики неисправностей и их применение / Р. Изерман // *Приборы и системы управления*, 1998. – № 4. – С. 56 – 70.

10. Gertler J. Analytical redundancy methods in fault detection and isolation // *Proc. IFAC Symp. SAFEPROCESS (Baden-Baden, 1991)*. – Oxford: Pergamon Press, 1991. – Vol. 1. – P. 9 – 21

11. Тугашова Л. Г., Затонский А.В. Моделирование объектов управления в MatLab. – Лань, 2020. – 144 с.

12. Власов С.М., Бойков В.И., Быстров С. В., Григорьев В. В. Бесконтактные средства локальной ориентации роботов. — СПб: Университет ИТМО, 2017. – 169 с.

13. Конин В.В., Харченко В.П. Системы спутниковой радионавигации. – Национальный авиационный университет. – К.: Холтех, 2010. – 520 с.

14. Чан, В.Т. Контроль целостности навигационных данных, используемых для управления мобильным роботом / В.Т. Чан, С.К. Киселев // *Информатика и вычислительная техника. XII Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2020 (Россия, г. Ульяновск. 15-15 июня 2020 г.)*: сборник научных трудов. Под общей ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск: УлГТУ, 2020. – С. 260 – 270 .

15. Чан, В.Т. Формирование траектории для исследования движения мобильных роботов / В.Т. Чан, С.К. Киселев // *Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 54-й научно-технической конф. В 3 ч. Ч.2.* – Ульяновск: УлГТУ, 2020. – С. 133-136.

Статья поступила в редакцию 16.03.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 336.764.1

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0002

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ НА МИРОВЫХ ФИНАНСОВЫХ РЫНКАХ

© 2021

**Пашенко Александр Дмитриевич**, студент

*Московский государственный институт международных отношений (университет)*

*Министерства иностранных дел Российской Федерации*

*(119454, Россия, Москва, проспект Вернадского, 76, e-mail: a.d.pashchenko@gmail.com)*

**Аннотация.** Статья посвящена анализу современных тенденций на мировых финансовых рынках. Данный анализ имеет большое практическое значение, так как позволяет выявить реальные и потенциальные риски для инвесторов, оценить возможности дальнейшего инвестирования и сформировать прогноз на перспективу. Получение дохода от инвестиций и возможность реинвестирования – значительная часть бизнеса многих современных компаний, включая фонды прямого инвестирования, и бизнесменов, в том числе стартаперов. Но анализ тенденций на мировых финансовых рынках важен не только для них, но и для компаний, желающих с помощью публичного размещения акций привлечь средства в собственный капитал, как при создании, так и в процессе роста потребности в капитале. В данном случае перед компанией встает выбор: использовать заемные средства, по которым существуют зачастую значительные процентные платежи, или снова привлечь средства в собственный капитал с помощью выпуска дополнительных ценных бумаг к уже имеющимся, то есть осуществления допэмиссии, выполняющей функцию привлечения средств от новых акционеров для развития компании. Проведенный анализ выявил следующие современные тенденции на мировых финансовых рынках: рост популярности как первичного публичного размещения, так и выпуска дополнительных ценных бумаг; снижение доходности по облигациям и рост популярности акций среди инвесторов; растущая роль розничных инвесторов; спекулятивные операции молодых розничных инвесторов; использование криптовалют и токенизация.

**Ключевые слова:** финансовые рынки, современные тенденции, анализ, инвестиции, инвесторы, привлечение средств, акции, облигации, доходность, реинвестирование, активность, феномен цикличности, криптовалюты, токены, блокчейн.

## ANALYSIS OF MODERN TRENDS IN GLOBAL FINANCIAL MARKETS

© 2021

**Pashchenko Alexander Dmitrievich**, student

*Moscow State Institute of International Relations (University) of the*

*Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation*

*(119454, Russia, Moscow, Vernadsky Avenue, 76, e-mail: a.d.pashchenko@gmail.com)*

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of modern trends in the world financial markets. This analysis is of great practical importance, as it helps to identify real and potential risks for investors, assess the possibilities of further investment and form a forecast for the future. Earning return from investments and the ability to reinvest is a significant part of the business of many modern companies, including private equity funds, and businessmen, including startups. But the analysis of trends in the global financial markets is important not only for them, but also for companies willing to raise funds in equity through public offering of shares, both when creating and in the process of growing capital requirements. In this case, the company is faced with a choice: to use borrowed funds, often accompanied by significant interest payments, or to raise funds to equity capital again by issuing additional securities to the existing ones, that is, carrying out an additional issue that performs the function of raising funds from new shareholders for development of the company. The analysis revealed the following modern trends in the world financial markets: the growing popularity of both the initial public offering and the issue of additional securities; decline in bond yields and growing popularity of stocks among investors; the growing role of retail investors; speculative operations of young retail investors; use of cryptocurrencies and tokenization.

**Keywords:** financial markets, current trends, analysis, investments, investors, raising funds, stocks, bonds, profitability, reinvestment, activity, the phenomenon of cyclicity, cryptocurrencies, tokens, blockchain.

**Введение.** В настоящее время, как отмечают многие исследователи, в том числе лауреаты Нобелевской премии по экономике (Юджин Фама [13], Роберт Шиллер [16], Ларс Питер Хансен [15]), все актуальнее становится проблема предсказуемости мировых финансовых рынков и, в частности, проблема предсказуемости цен на финансовые инструменты. Данная проблема тесно связана с научными и практически задачами по оценке доходности и рискованности инвестиций на мировых финансовых рынках, целе-

сообразности использования публичного размещения ценных бумаг для дополнительного привлечения средств компаниями.

В рамках решения проблемы предсказуемости мировых финансовых рынков и, в частности, проблемы предсказуемости цен на финансовые инструменты, важное место занимают вопросы анализа тенденций на мировых финансовых рынках. Данному аспекту этой проблемы свои работы посвятили многие отечественные и зарубежные ученые: Бутяева Ю.А. [1],

Демченко А.В. [2], Иванова В.В.[3], Лесных Ю.Г., Плотников А.В., Визер В.В. [4], Маковецкий М.Ю.[5], Мамедьяров З. [6], Очиллов И.С. Баракаева М. [7], Пшеничная В.П. [8], Рубцов Б.Б., Напольнов А.В. [9], Ульмаскулов Р.Т., Шарифьянова З.Ф. [10], Хлыстова О.В., Капустина А.В. [11], Д. Лукас, Р. Макдональд [12], Х. Чои, В. Нанда и Р. Масулис [14] и др. В то же время отдельные вопросы анализа тенденций на мировых финансовых рынках пока еще недостаточно изучены, кроме того, данные рынки подвержены постоянным изменениям, воздействию вновь появляющихся факторов и новых тенденций, требующих незамедлительного изучения и анализа.

**Целью** работы является анализ современных тенденций на мировых финансовых рынках.

**Материалы и результаты исследования.** Согласно результатам проведенного анализа одна из современных тенденций на мировых финансовых рынках – рост популярности *IPO* и *FPO*, а также расцвет *SPAC*. Так, в 2020 году почти по всему миру наблюдался «бум» *IPO*. Периоды, когда проведение *IPO* становится особенно выгодным и значительное количество компаний начинают торговаться на бирже, принято называть «горячими». Рынок *FPO* в данном случае движется в одном направлении с рынком *IPO*, так как их доходностью зачастую движут одни и те же факторы. Менеджмент старается выпустить акции на биржу в моменты, когда возможные денежные поступления от этого максимальны, что, зачастую, совпадает с периодами перегрева рынка или переоцененности компании. Действительно, в 2020 году рынок одних только *IPO* по данным *Deutsche Bank* составил 218 млрд. долларов, что на 36% больше, чем в 2019 году, а общая капитализация мирового рынка акций превысила 100 трлн. долларов, то есть за год увеличилась примерно на 15 трлн долларов [19].

2020-й год, ставший для мировой экономики шоковым из-за вводимых по всему миру карантинных ограничений, тем не менее стал рекордным по объемам в США (180 млрд. долл., что вдвое выше показателя 2019 года) [19]. Это может объясняться тем, что как компании-эмитенты, так и инвесторы даже на этапе спада ожидают быстрого восстановления экономики – во многом из-за значительного государственного вмешательства. Существуют и другие объяснения повышенной активности размещений в «горячие» периоды, в том числе связанные с поведенческими финансами, и зачастую они не исключают друг друга, а, наоборот, дополняют.

В 2020 году особую популярность приобрели *SPAC*, используя которые, компания может значительно сократить расходы по выходу на биржу. Примерно 40% размещений происходило через этот механизм. [20] По данным *NASDAQ*, объем средств, привлеченных через слияние со *SPAC*, уже превзошел объем средств от традиционных *IPO* на этой площадке. Это вызвано не только меньшими затратами, но и упрощенной процедурой, что позволило компаниям быстро среагировать на изменения на рынках капитала

и выйти на биржу значительно раньше, чем это случилось бы, используя они традиционные *IPO*. Кроме того, высока вероятность, что по количеству и, скорее всего, объему *IPO* 2021 год будет не хуже 2020, и поставит очередной рекорд, поэтому компании *SPAC* пользуются все большей популярностью у инвесторов.

Следующая современная тенденция на мировых финансовых рынках, выявленная в результате проведенного анализа, – снижение доходности по облигациям и рост популярности акций среди инвесторов. Снижение процентных ставок в экономике приводит к тому, что облигации растут в цене, и инвесторы начинают обращать большее внимание на более рискованные и потенциально более доходные активы. В целом, следует и дальше ожидать относительно низких ставок по облигациям и высоких цен на акции. Что касается России, то все еще относительно низкие процентные ставки заставляют цены на акции расти, достигая рекордных значений. С другой стороны, на российском рынке есть другая ярко выраженная тенденция, которая препятствует приходу иностранных инвесторов на российский рынок акций. Она заключается в том, что повышение курса акций в долгосрочном периоде после 2008 года оказывается менее значительным, чем ослабление национальной валюты, что можно понять, проанализировав графики индексов *IMOEX* и *PTC*. Таким образом, если оценивать акции в национальной валюте, то эффект низких ставок наблюдается, а если анализировать цены российских акций в долларах, то индекс *PTC* на начало апреля 2021 (1485,03) оказывается ниже, чем на начало декабря 2019 (1548,92) [17, 18].

Таким образом, в России эффект низких процентных ставок для акций хотя и существует, но не является достаточно значительным, чтобы сильно повлиять на цены акций в более устойчивых валютах. Для облигаций эффект низких ставок практически сошел на нет на начало апреля 2021 года на фоне роста инфляционных ожиданий и ожиданий по динамике ключевой ставки.

Еще одной современной тенденцией на мировых финансовых рынках является растущая роль розничных инвесторов. В 2020 наблюдался небывалый всплеск активности розничных инвесторов на мировых финансовых рынках. По оценкам *Bloomberg Intelligence*, с начала по июнь 2020 года доля частных инвесторов (непрофессиональных инвесторов, управляющих собственными деньгами) составила 19,5% от общего *order flow* в США, то есть возросла с 10,1% в 2010 году и 14,9% в 2019 году. В июне 2020 *Bank of America* сообщил, что объем торгов акциями и *ETF* США, в котором участвуют розничные инвесторы, вырос почти на 80% по сравнению с июнем 2019 [19].

Такой рост розничных инвестиций можно объяснить пандемией коронавируса. С началом пандемии люди стали проводить больше времени дома, и некоторые используют свое свободное время, чтобы попробовать свои силы в инвестировании и трейдинге.



По мере того, как в первой половине 2020 года рынки падали и восстанавливались, розничные инвесторы устремились на него, чтобы извлечь выгоду из этого благоприятного для инвестиций времени.

Кроме того, инвестирование еще никогда не было таким простым. Онлайн-брокерские компании позволяют инвесторам быстро и легко зарегистрироваться и приступить к торговле. Только в первом квартале 2020 года было открыто более миллиона новых онлайн-брокерских счетов. Эти онлайн-брокеры, как правило, намного более доступны, чем традиционные. Например, с начала 2020 года по май *Robinhood* сообщила о 3 миллионах новых учетных записей, и более половины их новых клиентов открывают свои первые брокерские счета.

При этом прирост новых клиентов отмечают и в России. Если в декабре 2019 года сделки совершили 392 тысячи человек, то в декабре 2020 – уже 1,4 млн. человек. В 2020 году на Московской бирже зарегистрировалось около 5 млн частных инвесторов. За год на нее пришло больше инвесторов, чем суммарно за все предыдущие годы, а общее количество индивидуальных инвесторов достигло 8,8 млн человек. В 2020 году частные инвесторы вложили в акции на Мосбирже 301 млрд рублей. Объем торгов на бирже достиг 23,9 трлн рублей – практически в два раза больше, чем в 2019 году. Доля частных инвесторов в объеме торгов акциями составила 40,6%, облигациями – 13%, на спот-рынке валюты – 12,3%, на срочном рынке – 42%.

В России становится все более популярным и весьма удачный инструмент сбережения – индивидуальный инвестиционный счет (ИИС), позволяющий пользоваться налоговыми вычетами, которые, в свою очередь, повышают доходность. За 2020 год инвесторы открыли более 1,8 млн ИИС, а их общее количество достигло 3 млн. Наибольшее количество таких счетов среди банков открыли клиенты «Сбера» – 1,7 млн, «Тинькофф» – 645,1 тыс. и ВТБ – 523,9 тыс. Среди брокерских компаний: БКС – 172,3 тысячи, «Открытие Брокер» – более 106,7 тысяч, «Финам» – 72,7 тысячи. Среди управляющих компаний: «Сбер Управление Активами» – 214,3 тысячи, «Альфа-Капитал» – 47,2 тысячи и «Регион» – 34,6 тысячи.

В «портфель частного инвестора» вошли акции «Газпрома» (23,1%), «Лукойла» (11,8%), «Норникеля» (11,3%), обыкновенные и привилегированные акции «Сбера» (10,5% и 8% соответственно), акции «Аэрофлота» (8,2%), ценные бумаги *Mail.ru Group* (7,4%). Из иностранных ценных бумаг инвесторы выбирали акции *Alibaba* (29,5%), *Pfizer* (11,6%), *Apple* (11,1%), *Tesla* (9,9%), *Intel* (8%), *Boeing* (7,7%), *Amazon* (7%).

На рынках всего мира влияние розничных торговцев не осталось незамеченным. В целом розничные инвесторы обеспечивали рынки ликвидностью, в то время как многие институциональные инвесторы отказывались от своих покупок. В некоторых случаях спекуляции и «стадное поведение» приводили к значительной неустойчивости. Одним из видимых результатов таких манипуляций стал рост интереса к

розничным инвестициям. Такой уровень розничной торговли вряд ли сохранится в долгосрочной перспективе. Исторически объем розничной торговли увеличивался в периоды более высокой волатильности и затем снижался. В то время как розничное инвестирование медленно развивалось, благодаря тенденции к более доступным онлайн-брокерам, пандемия коронавируса вызвала массовый всплеск розничной торговли, и можно ожидать, что уровни розничной торговли вернутся к нормальному значению, когда пандемия пройдет.

В качестве следующей современной тенденции на мировых финансовых рынках можно выделить спекулятивные операции молодых розничных инвесторов и акции-мемы. Существует определенный тип розничных инвесторов, который стал наиболее заметным во время пандемии, – это те, кто занимается дневной торговлей и спекулирует, стремясь получить быструю прибыль. Они также могут использовать кредитное плечо для увеличения своих зачастую и без того волатильных и недиверсифицированных портфелей. Так, 43% респондентов в опросе *Yahoo Finance* и *Harris* заявили, что за период с начала пандемии они использовали кредитное плечо, будь то маргинальная торговля или опционы. Эти инвесторы остаются в плюсе, пока рынок продолжает восходящий тренд, но, в случае разворота, ситуация может измениться.

Во время пандемии получил также развитие феномен, названный «*meme stocks*» или «*meme stonks*», что можно перевести на русский как «мемные акции», или «акции-мемы». Слово *stonks* является искаженным вариантом слова *stocks*, которое обычно используется, чтобы обозначить неудачную инвестицию. Акции-мемы – это акции, объемы торговли которых выросли не из-за эффективности компании, а, скорее, из-за ажиотажа в социальных сетях и онлайн-форумах. По этой причине эти акции часто становятся переоцененными. Примерами таких акций являются акции *GameStop*, *AMC* и *BlackBerry*. Хотя сами компании не добились выдающихся результатов в последние годы, акции этих трех компаний стали вирусными на популярном форуме *Reddit*, и в конце января 2021 года цены на них резко выросли. Акции *BlackBerry* выросли более чем в три раза, а акции *AMC* выросли почти в десять раз. Виральность (степень распространения информации) акций *GameStop* значительно превысила популярность двух упомянутых ранее компаний, и цена акций *GameStop* выросла за несколько дней на сотни долларов. Так, в начале января 2021 года акции *GameStop* были оценены в 17,25 долларов – цена, которая оставалась в стабильном диапазоне на протяжении всего 2020 года. Затем, примерно через 20 дней, рост *GME*, вызванный обсуждениями в Интернете, стал заметен: 26 января цена на *GME* достигла 147,98 долларов на закрытие дня, по сравнению с 76,79 долларов днем ранее и всего 39,36 долларов неделей ранее.

*GameStop* стала, пожалуй, самой разрекламированной акцией-мемом. На рисунке 1 приведена динамика цен акций *Gamestop* с августа 2020 по май 2021 гг.





Рисунок 1 – Динамика цен на акции Gamestop с августа 2020 по май 2021 гг.

«Мемные акции» становятся популярными из-за виральности в Интернете, и, как правило, сталкиваются с быстрыми скачками цен. Поскольку повышение цены можно назвать искусственным, то есть не связанным с результатом фактической деятельности компании, эти скачки сопровождаются неизбежным крахом.

И, наконец, еще одна современная тенденция на мировых финансовых рынках – использование криптовалют и токенизация. Появление цифровых криптоактивов, в том числе криптовалют, базирующихся на собственном блокчейне, и токенов, использующих уже существовавшую блокчейн-платформу, серьезно отразилось на финансовом мире. По состоянию на 2020 год в обращении находятся тысячи различных токенов. Поскольку новые токены разрабатываются для решения расширяющихся вариантов использования блокчейна, количество различных токенов, вероятно, будет продолжать расти заметными темпами.

По мере того, как индустрия блокчейнов продолжает развиваться, количество уникальных цифровых активов будет только расти в соответствии с многогранными потребностями всех участников экосистемы, начиная от корпоративных партнеров и заканчивая отдельными пользователями. Учитывая, что создание новых активов в цифровом мире зачастую проще, чем в физическом мире, ожидается, что эти цифровые активы улучшат способы работы, взаимодействия и создания ценности в различных отраслях, тем самым открывая широкий спектр новых социальных и экономических возможностей.

**Заключение.** Таким образом, по результатам проведенного анализа можно выделить следующие современные тенденции на мировых финансовых рынках: рост популярности *IPO* и *FPO*, расцвет *SPAC*; снижение доходности по облигациям и рост популярности акций среди инвесторов; растущая роль розничных инвесторов; спекулятивные операции молодых розничных инвесторов; криптовалюты и токенизация.

Результаты проведенного анализа могут быть полезны как реальным и потенциальным инвесторам, так и компаниям, планирующим привлечь дополнительные средства с помощью публичного размещения ценных бумаг на мировых финансовых рынках, а также могут быть использованы для дальнейших изысканий, например, в рамках отдельных видов финансовых активов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бутяева Ю.А. IPO российских компаний на российских и западных фондовых биржах: сложившийся опыт и перспективы // Научный альманах. 2017. №1-1(27). С.64-70.
2. Демченко А.В. Этапы IPO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://iteam.ru/publications/corporation/section\\_98/article\\_3195](https://iteam.ru/publications/corporation/section_98/article_3195) (дата обращения 24.05.2021).
3. Иванова В.В. Современные финансовые рынки // Монография. М.: Проспект, 2014. – С. 537 с.
4. Лесных Ю.Г., Плотноков А.В., Визер В.В. Оценка IPO и SPO как инструментов привлечения инвестиций (на материалах электроэнергетической отрасли) // Экономика и предпринимательство. 2017. №6 (83). С. 602-606.
5. Маковецкий М.Ю. Современные тенденции развития мирового финансового рынка // Омский научный вестник. 2014. № 4 (131).
6. Мамедьяров З. Роль фондовых рынков в стимулировании инновационных процессов. Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т. 64, № 11. С. 31-41.
7. Очиллов И.С. Баракаева М. Операции IPO: сущность, приоритеты и недостатки // Вестник современной науки. 2017. Т.1 №1-1(25). С.51-53.
8. Пшеничная В.П., Дребенникова М.Ю. Тенденции развития мирового финансового рынка // Вестник уральского института экономики, управления и права. 2016. №3. С.4-10.
9. Рубцов Б.Б., Напольнов А.В. Мировой и российский рынки IPO: анализ тенденций и перспектив развития. Стратегические решения и риск-менеджмент. 2011. № 5. С.60-69.
10. Ульмаскулов Р.Т., Шарифьянова З.Ф. Отличия фондового рынка США от российского фондового рынка // Символ науки. 2017. №1. С. 69-71.
11. Хлыстова О.В., Капустина А.В. Проблемы и перспективы развития российского рынка IPO/SPO // Вестник морского государственного университета. 2019. №84. С. 46-50.
12. Deborah J. Lucas, Robert L. McDonald. Equity Issues and Stock Price Dynamics // The Journal of Finance. September 1990. Vol. XLV, No 4. P. 1019-1043.
13. Eugene Fama, Does the Fed control interest rates? // The Review of Asset Pricing Studies 3 (2). December 2013, P. 180-199.

14. Hyuk Choe, Ronald W. Masulis, Vikram Nanda. Common stock offerings across the business cycle: Theory and evidence. *Journal of Empirical Finance*. June 1993. Vol. 1, Issue 1. P. 3-31.

15. Lars Peter Hansen. Uncertainty Spillovers for Markets and Policy // University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper, September 2, 2020.

16. Robert Shiller, Narrative Economics: How Stories Go Viral and Drive Major Economic Events, October 1, 2019 – 400 p.

17. База данных котировок акций Investing.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.investing.com/equities/>

18. База данных IPO / SPO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.preqvcsa.ru/placements/> (дата обращения 24.05.2021)

19. Federal Reserve Board: official website [Electronic Resource]. - Mode of access: <https://www.federalreserve.gov>

20. Nasdaq: official website [Electronic resource]. - Mode of access: [https://www.nasdaq.com/US Securities and Exchange](https://www.nasdaq.com/US_Securities_and_Exchange) Commission: official website [Electronic Resource]. - Mode of access: <https://www.sec.gov/>

*Статья поступила в редакцию 25.05.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК: 519.711.3

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0003

## ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

© 2021

**Карпухин Эдуард Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и физика»

**Дементьева Елена Сергеевна**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Математика и физика»

*Пензенский государственный технологический университет*

*(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, 1А/11, e-mail: edvar1@rambler.ru)*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблемы улучшения технических характеристик магнитоотрицательных устройств – магнитоотрицательных преобразователей перемещения (МПП). Одним из центральных моментов функционирования МПП, является передача информации посредством взаимодействия магнитных полей. Исследования таких взаимодействий для разных частных случаев проведены в работах многих авторов, но общая методика моделирования магнитных полей МПП на настоящее время отсутствует. Поэтому целью статьи является попытка сделать обобщение известных моделей и магнитных полей МПП и на его основе сформировать общую методику моделирования магнитных полей МПП. Для этого предлагается обобщенная структурная схема МПП, учитывающая все возможные конструктивные особенности и физические явления, имеющие место в подобных устройствах. Основное внимание уделяется анализу моделей импульсного магнитного поля магнитоотрицательного звукопровода МПП, магнитного поля обмотки записи и постоянного магнита МПП. Отмечаются способы получения магнитных полей указанных элементов и особенности каждого из них. Проведенный анализ позволяет предложить обобщенную методику математического моделирования МПП и, в частности, их магнитных полей, путем введения объединяющего функционала, принимающего значения конкретных параметров МПП, с возможностью расширения его возможностей.

**Ключевые слова:** магнитоотрицательные преобразователи перемещений, математическое моделирование, математические модели импульсных магнитных полей, математические модели магнитных полей постоянных магнитов, обобщенная методика моделирования МПП.

## GENERALIZED METHOD OF MATHEMATICAL SIMULATION OF MAGNETIC FIELDS OF MAGNETOSTRICTIONAL DISPLACEMENT CONVERTERS

© 2021

**Karpukhin Eduard Vladimirovich**, candidate of technical sciences,  
associate professor sub-department of «Mathematics and physics»

**Dementyeva Elena Sergeevna**, candidate of pedagogical sciences,  
associate professor sub-department of «Mathematics and physics»

*Penza State Technological University*

*(440039 Russia, Penza, pr. Baidukova / ul. Gagarina, 1a / 11, e-mail: edvar1@rambler.ru)*

**Abstract.** The article discusses the problems of improving the technical characteristics of magnetostrictive devices - magnetostrictive displacement converters (WFP). One of the central points of WFP's operation is the transfer of information through the interaction of magnetic fields. Studies of such interactions for different private cases have been carried out in the works of many authors, but there is currently no general method for modeling WFP magnetic fields. Therefore, the purpose of the article is to attempt to summarize WFP's known models and magnetic fields and, on its basis, to form a general methodology for modeling WFP magnetic fields. For this purpose, a generalized WFP structural diagram is proposed, taking into account all possible design features and physical phenomena that occur in such devices. The main focus is on the analysis of models of the impulse magnetic field of the magnetostrictive sound line WFP, the magnetic field of the recording winding and the permanent magnet WFP. Methods of obtaining magnetic fields of said elements and peculiarities of each of them are noted. The analysis suggests a generalized methodology for mathematical modelling of WFP and, in particular, their magnetic fields, by introducing a unifying functionality that takes on the values of specific parameters of WFP, with the possibility of expanding its capabilities.

**Keywords:** magnetostrictive displacement converters, mathematical modeling, mathematical models of pulse magnetic fields, mathematical models of magnetic fields of permanent magnets, a generalized method of modeling WFP.

**Введение.** В настоящее время в химической, перерабатывающей, военной промышленности для автоматизации различных технических процессов применяются магнитоотрицательные устройства. По ряду основных параметров, таких как точность, разрешающая способность, быстродействие, взрыво- и пожаробезопасность, наилучшими показателями обладают магнитоотрицательные преобразователи перемеще-

ний (МПП) [1,2]. Существует множество вариантов конструкций МПП, однако, все они содержат следующие основные элементы, которые могут различаться формой и материалом [3]:

- магнитоотрицательный звукопровод (МЗП);
- постоянные магниты (ПМ).

Другими, не менее важными, составными элементами МПП являются электроакустические преобразо-

ватели (ЭАП) и акустические демпферы (АД).

Эти элементы входят в состав первичного магнитострикционного преобразователя перемещений (МПП), основным назначением которого является формирование в среде МЗП продольных или крутильных акустических волн, содержащих информацию об измеряемой величине и подлежащих дальнейшему считыванию с помощью ЭАП.

Построение новых МПП с улучшенными характеристиками, а также модернизация существующих, является важной практической задачей, решение которой представляется возможным, с помощью проведения моделирования работы как МПП в целом, так и отдельных их элементов. Одним из центральных моментов, оказывающего существенное влияние на работу любого МПП, является взаимодействие магнитных полей в области прямого магнитострикционного преобразования.

Задача исследования магнитных полей МПП путем их математического моделирования для различных частных случаев решалась в работе многих авторов, например [4-9].

В работе [4] показано исследование магнитострикционных преобразователей уровня накладного типа, получены модели импульсного магнитного поля МЗП и поля подмагничивания МП.

В работе [5] показано исследование МПУ для байпсных систем, получены модели магнитных полей МПУ, учитывающие сложность геометрии расчетной области.

В работах [6-9] также исследуются магнитные поля ПМ и получены аналогичных результаты.

**Целью** статьи является проведение обзора известных математических моделей магнитных полей МПП, их анализ и обобщение, а также предложение на их основе нового общего подхода к моделированию МПП.

В основе такого подхода может лежать известный из области системного анализа принцип перехода от частного к общему с помощью проведения декомпозиции рассматриваемого объекта, в данном случае математических моделей магнитных полей МПП, и выявление на ее основе закономерностей.

**Материалы и результаты исследования.** Все МПП, известные на сегодняшний день, являются сложными техническим устройствами, имеющими разнообразную структуру, определяемую их назначением, функциональными возможностями, условиями работы и другими факторами. Однако, в составе любого МПП можно выделить некоторые общие элементы, присущие всем подобным устройствам, такие как МЗП, ПМ, ЭАП. Также МПП могут содержать и другие элементы, такие как АД, электромагнитные экраны, корпуса элементов с ПМ. Существенное влияние на работу МПП оказывают параметры технологического объекта, на котором он установлен. К основным из них можно отнести: параметры резервуара с контролируемой средой, расстояния и зазоры между элементами МПП и технологического объекта, его

физические свойства.

С учетом этого, обобщенную структуру МПП можно представить в виде (рис. 1):

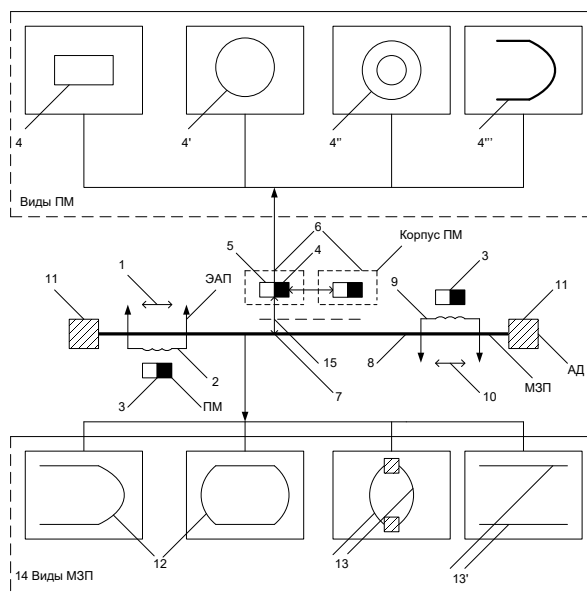


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема МПП

На этой схеме отмечено наличие следующих физических явлений и параметров конструкции МПП: 1 – импульс тока записи; 2 – магнитное поле катушки записи; 3 – магнитное поле подмагничивания; 4 – магнитное поле ПМ (в зависимости от его параметров); 5 – краевой эффект; 6 – экранирование (влияние корпуса) ПМ и МЗП; 7 – прямое магнитострикционное преобразование; 8 – процесс распространения УЗВ в МЗП (затухание волн, поверхностный эффект, влияние температуры, перемагничивания, механического напряжения МЗП); 9 – магнитное поле катушки чтения; 10 – форма выходной э.д.с.; 11 – демпфирование УЗВ (или его отсутствие); 12 – геометрическая форма МЗП; 13 – количество МЗП; 14 – вид МЗП; 15 – работа через немагнитную стенку или другие конструктивные особенности МПП.

Рассмотрим подробнее математические модели некоторых из отмеченных физических явлений и их особенности.

**1. Модель импульсов тока записи.** Цикл опроса МПП начинается с подачи на обмотку входного ЭАП (или на сам МЗП для некоторых вариантов конструкций МПП, например [4]) импульсов тока записи  $i_x(t)$ .

Прямоугольные импульсы  $i_x(t)$  амплитудой  $I_m$ , длительностью  $\tau$ , поступающие с частотой  $f=1/T$ , для дальнейшего использования в составе математических моделей удобно представить рядом Фурье в виде:

$$i_x(t) = I_m \left[ \frac{\tau}{T} + \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left( \sin\left(\frac{2n\pi}{T}(\tau-t)\right) + \sin\left(\frac{2n\pi t}{T}\right) \right) \right]. \quad (1)$$

В некоторых моделях МПП могут быть использованы импульсы тока записи пилообразной или экспоненциальной формы, для которых возможно получить представления рядом Фурье, аналогичные

выражению (1).

### 2. Модель магнитного поля катушки записи.

Под действием импульсов тока записи  $i_x(t)$ , описываемых выражением вида (1), вблизи обмотки записи входного ЭАП (или вблизи самого МЗП для некоторых вариантов конструкций МПП, например [3]) формируется импульсное магнитное поле напряженностью  $H_x(t)$ , которая на основании закона полного тока может быть найдена

- для МЗП с радиусом поперечного сечения в виде:

$$H_x(t) = \frac{i_x(t)}{2\pi R}; \quad (2)$$

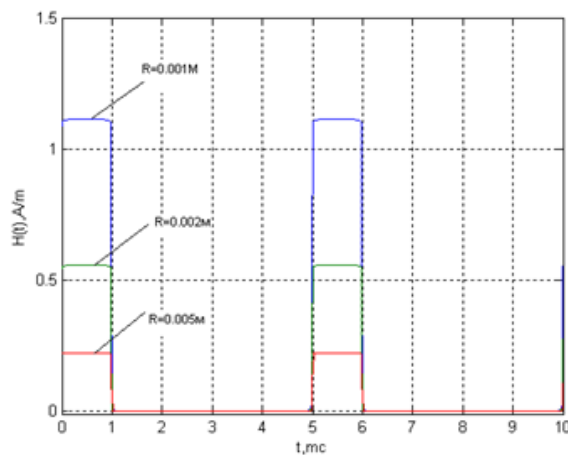
- для обмотки входного ЭАП с числом витков в виде:

$$H_x(t) = 2W_2 \iint_S H_1(t, x, y) dx dy, \quad (3)$$

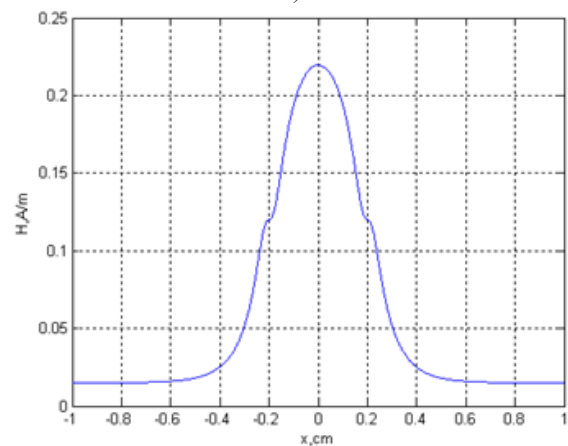
где  $S$  – область, ограниченная обмоткой,  $x, y$  – координаты точки наблюдения,  $H_1(t, x, y)$  – напряженность магнитного поля одного витка обмотки, равная [11]:

$$H_1(t, x, y) = \frac{y}{2\pi(x^2 + y^2)} i_x(t). \quad (4)$$

В случае (2), напряженность  $H_x(t)$  имеет вид, показанный на рисунке 2а, а в случае (3) – на рисунке 2б.



а)



б)

Рисунок 2 – Напряженность магнитного поля МЗП (а) и ЭАП (б)

Напряженность поля  $H_x(t)$  катушки или МЗП подвержена влиянию поверхностного эффекта, выражаемого в виде сужения области проникновения магнитного поля в среду МЗП.

### 3. Модель магнитного поля подмагничивания.

Магнитное поле подмагничивания необходимо для работы МПП на основе продольных УЗВ. Оно формируется вблизи обмотки ЭАП с целью усиления результирующего магнитного поля. Для этого применяются ПМ определенной конфигурации.

Описание магнитных полей ПМ могут быть получены различными способами, наиболее распространенным из которых является метод эквивалентного соленоида.

Метод заключается в замене постоянного магнита эквивалентным соленоидом с числом витков  $W_2$  и проведении его расчета на основе закона Био-Савара-Лапласа, описываемого выражением:

$$\vec{H} = \int_{(l)} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3(x_0, y_0, z_0, x, y, z)}, \quad (5)$$

где  $d\vec{l}(x_0, y_0, z_0)$  – элемент контура ( $l$ ), сонаправленный с током  $I$ ,  $\vec{r}$  – расстояние между данным элементом и точкой наблюдения  $P(x, y, z)$  (рис. 3) [12].

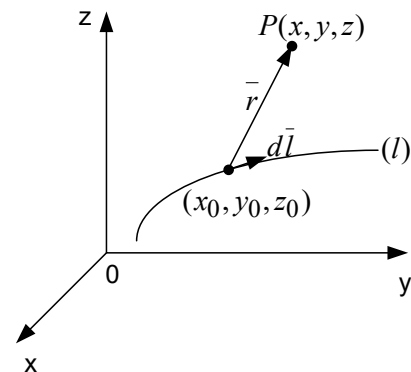


Рисунок 3 – Расчет магнитного поля на основе закона Био-Савара-Лапласа

С помощью (5) удобно определить напряженность  $H_i$  одного витка соленоида, и в случае равномерности его обмотки, для расчета напряженности магнитного поля ПМ воспользоваться выражением, аналогичным (3). При использовании соленоида с неравномерной обмоткой или сложной геометрической формой, а также для расчета магнитного поля многослойного соленоида, может быть использован принцип суперпозиции. В этом случае, формула для соленоида, имеющего обмотку из  $K$  слоев, по  $M$  витков в каждом имеет вид:

$$\vec{H}(x, y, z) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M \vec{H}_{kj}(x, y, z_j), \quad (6)$$

где  $\vec{H}_{kj}(x, y, z_j)$  – вектор напряженности поля, создаваемый  $j$ -ым витком в  $k$ -ом слое [1].

Модели магнитных полей ПМ наиболее распространенных геометрических форм, полученные с применением этого метода имеют вид:

- ПМ прямоугольной формы [5]:



$$H_x(t, x_0, y_0) = i_x(t) \frac{W_2}{\pi} \left[ b \left( \arctg \left( \frac{x_0 + y_0 / 2}{b} \right) - \arctg \left( \frac{x_0 - y_0 / 2}{b} \right) \right) - a \left( \arctg \left( \frac{x_0 + y_0 / 2}{a} \right) - \arctg \left( \frac{x_0 - y_0 / 2}{a} \right) \right) \right] + \frac{x_0 + y_0 / 2}{2} \ln \alpha_1 + \frac{x_0 - y_0 / 2}{2} \ln \alpha_2 \quad (7)$$

где  $x_0, y_0$  – координаты точки наблюдения,  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты, зависящие от конструкции МПП,  $i_x(t), W_2$  – амплитуда токового импульса и число витков эквивалентного соленоида соответственно,  $a, b$  – его геометрические размеры.

• ПМ сплошной или кольцевой формы [6]:

$$H_x(t, x_0, y_0) = i_x(t) \frac{W_2}{2\pi\mu(R_M - r_M)} \times \left[ \ln \frac{R_M + \sqrt{R_M^2 - (h_M/2)^2}}{r_M + \sqrt{r_M^2 + R_M^2 - (h_M/2)^2}} - \frac{1}{h_M^2} \left( \frac{R_M^3}{(R_M^2 + h_M^2/4)^{3/2}} - \frac{r_M^3}{(r_M^2 + h_M^2/4)^{3/2}} \right) \cdot (2x_0^2 - y_0^2) + C_0 \right], \quad (8)$$

где  $h_M, R_M, r_M$  – высота, внешний и внутренний радиусы ПМ соответственно,  $\mu$  – магнитная проницаемость,  $x_0, y_0$  – расстояние от центра соленоида до расчетной точки,  $C_0$  – корректирующий параметр.

**Заключение.** Обобщая известные математические модели магнитных полей МПП, можно предложить методику их моделирования, путем построения функционала  $L\{f_1, f_2, f_3\}$ , где  $f_1$  – математические модели импульсов тока записи вида (1),  $f_2$  – математические модели магнитного поля катушки записи, например, вида (2) – (4),  $f_3$  – математические модели магнитного поля подмагничивания, например, вида (5) – (8). Подобный подход, при решении различных задач использовался, например, в работах [12-19].

Значением функционала  $L$  является модель результирующего магнитного поля МПП, которая может быть использована для исследования магнитных полей как известных, так и новых магнитоотрицательных устройств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Карпухин Э.В. Математическое моделирование магнитных полей накладных магнитоотрицательных устройств: Монография/ Э.В. Карпухин, С.Б. Демин. – Пенза: ПензГТУ, 2014. – 116 с.
2. Демин С.Б. Магнитоотрицательные системы для автоматизации технологического оборудования: Монография. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2002. – 182 с.
3. Патент RU №2298156. МПК: G01F23/28, G01F23/30. Уровнемер-индикатор/ С.Б. Демин, И.А. Демина, А.С. Фролов, Э.В. Карпухин//. Опубл. 27.04. 2007. – Бюл. №12.
4. Карпухин Э.В. Математическое моделирование магнитных полей накладных магнитоотрицательных устройств: Дис...канд. техн. наук. – Пенза, 2012. – 157 с.
5. Мокроусов Д.А. Математическое моделирование магнитоотрицательных преобразователей уровня жидких сред накладного типа для герметизированного оборудования: Автореферат дис...канд. техн. наук. – Пенза, 2014 – 24 с.
6. Герасимова Л.А. Магнитоотрицательные преобразователи положения с повышенной точностью и быстродействием: Автореферат дис...канд. техн. наук. – Уфа, 2009. – 18 с.
7. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитоотрицательных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис...канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
8. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. – М.: Энергия, 1972. – 248 с.
9. Пчелинцева О.Н. Моделирование бездемпферных магнитоотрицательных преобразователей уровня на крутильных волнах: Дис...канд. техн. наук. – Пенза, 2011. – 174 с.
10. Кушлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем./ Под ред. Е.М. Лейкина. – М.: Мир, 1983. – 520 с.
11. Корытчинков Д.Е. Численное моделирование магнитного поля соленоида/ Д.Е. Корытчинков, А.А. Трубицын, А.А. Дягилев// Вестник РГРТУ. – 2008. – №3. – С.45-48.
12. Баженов Ю.М. Сверхтяжелый бетон для защиты от радиации/ Ю.М. Баженов, А.П. Прошин, А.И. Еремкин, Е.В. Королев, А.Н. Бормотов// Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 6-9.
13. Бормотов А.Н. Имитационное моделирование деструкции и метод прогнозирования стойкости композиционных материалов\*/ А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, Е.В. Королев// Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 113-118.
14. Прошин А.П. Методологические принципы выбора оптимальных наполнителей композиционных материалов/ А.П. Прошин, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов, А.Н. Бормотов// Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 10 (550). – С. 15-20.
15. Бормотов А.Н. Методика представления композиционного материала как объекта исследования и моделирования/ А.Н. Бормотов, Е.А. Колобова, Ю.В. Коно-

вацкий// Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3. – С. 44-51.

16. Королев Е.В. Глетглицириновые строительные материалы для защиты от радиации/ Е.В. Королев, А.Н. Бормотов, А.С. Иноземцев, С.С. Иноземцев// Строительные материалы. – 2009. – № 12. – С. 69-71.

17. Бормотов А.Н. Методологические принципы математического моделирования и синтеза композиционных материалов из отходов нефтепереработки/ А.Н. Бормотов, М.В. Кузнецова, Е.А. Колобова// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 2 (38). – С. 85-94.

18. Коновалова И.И. Алгоритм настройки адаптивных регуляторов/ И.И. Коновалова, С.В. Селезнёва, А.Н. Коновалов, А.Н. Бормотов// В мире научных открытий. – 2013. – № 6 (42). – С. 22-33.

19. Бормотов А.Н. Система управления качеством при математическом моделировании и многокритериальном синтезе наномодифицированных композитов специального назначения/ А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, М.В. Кузнецова// Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2014. – Т. 64. № 2. – С. 110-118.

Статья поступила в редакцию 27.04.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 372.881.1

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0004

## АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И АНАЛИЗА МЕСТ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

© 2021

**Костин Алексей Владимирович**, начальник

*Управление цифрового развития, информационных технологий и связи Пензенской области  
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Московская, 75, e-mail: kostin@obl.penza.net)*

**Аннотация.** Одной из проблем современного общества в России и за рубежом является необходимость сокращения общего количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на автомобильных дорогах и, в первую очередь, количества погибающих и получающих ранения. Этой проблеме уделяется серьезное внимание во всех развитых странах, о чем свидетельствуют многочисленные публикации и принимаемые государственные программы, направленные на её решение. Принятые в РФ на государственном уровне документы определяют порядок учета ДТП и выявления мест их концентрации, на основе которых созданы информационные ресурсы, предоставляющие достаточно детальную статистическую информацию о ДТП и значениях показателей, характеризующих их последствия. Однако разработанные Положения не в полной мере учитывают возможности современных информационных технологий в плане выявления и динамики изменений мест концентрации ДТП, а также формирования визуальных представлений для анализа влияния реализуемых мероприятий на показатели, характеризующие ДТП. Предлагается алгоритм выявления и ранжирования мест концентрации ДТП с возможностью варьирования состава показателей и факторов, влияющих на ДТП, для выполнения разностороннего анализа мест и причин ДТП и формирования данных для выработки решений по планированию мероприятий, направленных на улучшение состояния дел в области организации безопасности дорожного движения (ОБДД). Предлагаемый алгоритм основан на алгоритме кластеризации *FOREL*, позволяет формировать наборы данных о местах концентрации ДТП в формате СУБД *PostgreSQL*, которые используются в геоинформационном портале ситуационного центра для представления на электронных картах, что сокращает продолжительность процесса анализа результатов ДТП и выработки решений по повышению уровня безопасности дорожного движения.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортные происшествия, ДТП, места концентрации ДТП, алгоритм анализа мест ДТП, кластеризация, информационные ресурсы.

## ALGORITHM FOR CLUSTERING AND ANALYZING TRAFFIC ACCIDENT LOCATIONS

© 2021

**Kostin Aleksey Vladimirovich**, head

*Administration of digital development, information technologies and communications of the Penza region  
(440000, Russia, Penza, Moskovskaya St., 75, e-mail: kostin@obl.penza.net)*

**Abstract.** One of the problems of modern society in Russia and abroad is the need to reduce the total number of road accidents on the roads and, first of all, the number of people killed and injured. This problem is given serious attention in all developed countries, as evidenced by numerous publications and government programs aimed at solving it. The documents adopted in the Russian Federation at the state level determine the procedure for accounting for road accidents and identifying places of their concentration, on the basis of which information resources are created that provide sufficiently detailed statistical information about road accidents and the values of indicators that characterize their consequences. However, the developed Provisions do not fully take into account the capabilities of modern information technologies in terms of identifying and dynamics of changes in the places of concentration of road accidents, as well as the formation of visual representations for analyzing the impact of implemented measures on the indicators that characterize road accidents. An algorithm is proposed for identifying and ranking the places of concentration of road accidents with the possibility of varying the composition of indicators and factors affecting road accidents, for performing a comprehensive analysis of the places and causes of road accidents and generating data for developing decisions on planning measures aimed at improving the state of affairs in the field of road safety management. The proposed algorithm is based on the *FOREL* clustering algorithm, which allows you to generate data sets about the places of concentration of accidents in the *PostgreSQL* DBMS format, which are used in the geographic information portal of the situation center for presentation on electronic maps, which reduces the duration of the process of analyzing the results of accidents and developing solutions to improve road safety.

**Keywords:** traffic accidents, places of concentration of accidents, algorithm for analyzing accident sites, clusterization, information resources.

**Введение.** Статистика по количеству ДТП и их последствиям указывает на необходимость проведения систематической работы по обеспечению безопасности дорожного движения (БДД), включая мониторинг

данных о ДТП, планирование и реализацию соответствующих мероприятий. Об этом свидетельствуют данные о ДТП, в частности:

– по данным Всемирной организации здравоохра-

нения (ВОЗ) ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий во всем мире погибает около 1,4 миллиона человек и 45 миллионов получают травмы. По оценке ВОЗ (2013 года) в 2020 году на дорогах по всему миру могли погибнуть 17 миллионов человек и более 200 миллионов человек могли получить серьезные и необратимые травмы [1, 2];

– за последние три года (в 2018 – 2020 гг.) количество погибших в ДТП в РФ составляет 18214, 16981 и 16152 человек, соответственно, а раненых – 214853, 210877 и 183040 человек (при наличии тенденций к сокращению количества погибших и раненых) [3];

– за последние три года (в 2018 – 2020 гг.) количество погибших в ДТП в Пензенской области составляет 212, 204 и 213 человек, соответственно (при отсутствии тенденции к сокращению количества погибших), а раненых – 2560, 2525 и 2179 человек (при наличии тенденции к сокращению количества раненых) [3].

Поэтому использование информационных технологий для решения задач учета ДТП, анализа ДТП и их последствий, выявления мест концентрации ДТП, анализа эффективности мероприятий, направленных на обеспечение БДД, является актуальным, т.к. позволяет оперативно формировать данные и визуальные представления с использованием электронных карт и диаграмм, выполнять многомерный анализ данных для выявления зависимостей ДТП от различных факторов, формировать данные для выявления тенденций в сфере ОБДД.

Поскольку вопросами ОБДД в РФ занимаются на всех уровнях системы управления государством, то был выполнен анализ соответствующих нормативных документов обязательного и рекомендательного характера, в которых определен порядок учета ДТП и взаимодействия участников процесса ОБДД [4, 5], направлений работ по совершенствованию ОБДД [6], рекомендации по выполнению работ в части повышения качества автомобильных дорог и их обустройства [7, 8]. Для регистрации данных о ДТП, формирования соответствующих статистических данных по регионам, созданы информационные ресурсы, предоставляющие достаточно детальную статистическую информацию о ДТП и значениях показателей, характеризующих их последствия [3, 9].

Однако указанные документы не в полной мере учитывают возможности современных информационных технологий в плане выявления мест концентрации ДТП с учетом различных показателей и их комбинаций, а также динамики изменений (миграции) мест концентрации ДТП, формирования визуальных представлений для анализа влияния реализуемых мероприятий на показатели, характеризующие ДТП. В частности, описанные в [7, 8] методы выявления мест концентрации ДТП, ориентированные на неавтоматизированную обработку данных, сложно применять из-за значительной трудоемкости, и их можно считать морально устаревшими.

Важное значение для создания условий безопас-

ного дорожного движения имеет реализация информационного взаимодействия соответствующих организаций: органов исполнительной власти и местного самоуправления, органов МВД, медицинских учреждений, предприятий по строительству и обслуживанию дорог, средств массовой информации, диспетчерских служб, служб МЧС, общественных организаций [5, 6]. Опыт других стран показывает различные подходы к решению этих задач, например: использование математической модели, включающей различные методы идентификации «горячих точек» для программы безопасности на дорогах Турции при наличии данных не менее чем 7 лет [2]; прогнозирование продолжительности устранения инцидентов, произошедших на автостраде с учетом существенных факторов, и организация оперативного информационного взаимодействия участников дорожного движения [10, 11]; использование моделей прогнозирования ДТП на пешеходных переходах [12].

Для выявления мест концентрации ДТП можно использовать подходы, которые базируются на моделях и алгоритмах кластеризации объектов, как универсальных [13 – 15], так и специализированных [16 – 19]. Универсальные алгоритмы кластеризации выполняют анализ всех объектов, что не требуется в случае выявления мест территориальной концентрации ДТП, т.к. в первую очередь надо определить места, в которых произошло не менее трёх ДТП, а одиночные случаи рассматриваются только в случаях, если эти места находятся «в прямой причинно-следственной связи с недостатками транспортно-эксплуатационного состояния» [7]. Поэтому для разработки программного обеспечения, предназначенного для выявления мест концентрации ДТП, необходима разработка специализированного алгоритма оригинального или на базе известных. В качестве прототипа выбран алгоритм *FOREL* [14].

**Материалы и результаты исследования.** Задачу определения мест концентрации ДТП можно рассматривать как задачу кластеризации объектов, имеющих географические координаты, т.е. кластер должен включать наиболее близкие места ДТП с учетом ограничений на размеры таких мест: не более  $L_{дон}^A = 1$  км на автодорогах вне населенных пунктов и не более  $L_{дон}^{НИП} = 200$  м в населенных пунктах [5, 7, 8]. Соответственно, координаты ДТП, отнесенных к  $i$ -му кластеру, должны быть от центра кластера не далее, чем половина  $L_{дон}^A$  и  $L_{дон}^{НИП}$ .

Для решения задачи исходные данные должны содержать следующие обязательные данные: идентификационный номер ДТП, дата и время события, географические координаты места ДТП, показатели последствий ДТП (количество погибших и раненых). Другие классификационные признаки (факторы, которые могут влиять на ДТП) в данной постановке не требуются. Принято, что необходимые классификационные признаки использованы при отборе данных для решения данной задачи.

Кластеризация мест ДТП должна обеспечивать

выявление мест концентрации ДТП (очагов аварийности, ОА) по данным, полученным в течение заданного интервала времени (Дата1, Дата2) по региону в целом или в пределах заданной территории, которая может быть задана на карте в форме многоугольника.

Для определения ОА следует задать «радиус ОА» ( $R$ ) – расстояние от центра ОА до наиболее удаленного места ДТП, включенного в данный ОА:  $R$  не более  $L_{дон}$ ,  $A$  или  $L_{дон, НГ}$

Очаги аварийности принято оценивать по значениям единичных и комплексных показателей:

- количество погибших ( $N_n$ );
- количество раненых ( $N_p$ );
- общее количество ДТП ( $N_o$ );
- «степень тяжести последствий»:  $S_{mn} = 100 N_n / N_p$  [7];
- обобщенный (комплексный) показатель аварийности  $i$ -го ОА:

$Q_i = \sum_{j=1}^3 k_{ij} w_{ij}^*$ , где  $k_1, k_2, k_3$  – весовые коэффициенты нормированных частных показателей очагов аварийности ( $w_{ij}^*$ ):

$$w_{ij}^* = \frac{P_{ij} - P_{j, \min}}{P_{j, \max} - P_{j, \min}};$$

$P_{ij}$  –  $j$ -й частный показатель для  $i$ -го кластера;

$P_{ij}^{\min}, P_{ij}^{\max}$  – наименьшее и наибольшее значения  $j$ -го частного показателя (по всем сформированным кластерам). В составе  $Q_i$  учитываются частные показатели  $N_n, N_p, N_o$ . При этом должно выполняться условие:  $\sum_{j=1}^3 k_{ij} = 1$ .

Для анализа очагов аварийности следует использовать различные варианты значений весовых коэффициентов (табл. 1):

- если требуется сравнить ОА по количеству погибших в ДТП, то следует выбрать первый вариант значений коэффициентов;
- если требуется сравнить ОА по количеству пострадавших (раненых), то – второй;
- если – без учета погибших и раненых, то – третий;
- если требуется сравнить ОА по количеству погибших и раненых, то – четвёртый (при этом пользователь может задать равные предпочтения частных показателей при  $k_1 = k_2 = 0,5$  или разные, например,  $k_1 = 0,7, k_2 = 0,3$ );
- если требуется сравнить ОА с учетом трёх показателей, то – пятый (при этом пользователь должен задать предпочтения частных показателей, например,  $k_1 = 0,6, k_2 = 0,3, k_3 = 0,1$ ).

Таблица 1 – Варианты назначения весовых коэффициентов

Вариант	Частные показатели, учитываемые в составе $Q$	$k_1$	$k_2$	$k_3$
1	Количество погибших	1	0	0
2	Количество раненых	0	1	0
3	Количество ДТП без погибших и раненых	0	0	1
4	Количество погибших и раненых	>0	>0	0
5	Количество ДТП, количество погибших и раненых	>0	>0	>0

Алгоритм выявления мест концентрации ДТП. Алгоритм кластеризации ДТП включает следующие процедуры:

1. Формирование из исходных данных о ДТП выборки данных ( $N$  записей) для анализа ДТП в заданном интервале времени и на заданной территории.

2. Вычисление расстояний между всеми местами ДТП; результат можно представить в матрице  $L_{N \times N}$  или в форме списка расстояний между ДТП: номер ДТП ( $i$ ), номер ДТП ( $j$ ), расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м ДТП ( $L_{ij}$ ). Можно для работы сформировать список расстояний, из которого удалены все строки с расстояниями, превышающими величину  $R$ .

3. Поскольку в начале работы алгоритма кластеры ещё не сформированы, то выбор выполнить поиск элемента с наименьшим значением ( $L_{\min} = L_{ij}$ ) во всей матрице (или во всем списке), т. е. найти пару наиболее близко расположенных друг к другу мест ДТП.

Если  $L_{\min} > R$ , то вывести сообщение: «Нет ОА с радиусом не более  $R$ ; далее следует задать новое значение  $R$ , превышающее предыдущее, и вернуться к п. 3 или закончить работу.

Если найдено  $L_{\min} \leq R$ , то номер кластера  $C=0$ , перейти к п. 4.

Создать запись с данными первого/очередного кластера (табл. 2). Состав кластера можно формировать в форме отдельной таблицы.

4. При создании новой записи для кластера в таблицу записать:

– идентификатор кластера/ОА:  $C=C+1$ ;

– номер строки ( $i$ ) и номер столбца ( $j$ ) матрицы (или идентификаторы соответствующих мест ДТП); в матрице  $L_{N \times N}$  пометить столбцы ( $i$  и  $j$ ), как запрещенные для выбора минимального значения ( $L_{\min} = L_{ij}$ ) при последующем формировании текущего или будущих кластеров, т.к. соответствующие элементы уже включены в кластеры.

При использовании списка расстояний между ДТП надо удалить соответствующие строки с номерами мест, включенных в кластер.

Таблица 2 – Структура записей с данными о кластерах

Идентификатор кластера	Координаты центра кластера		Обобщенный показатель, $Q(C)$ , при заданных $k_1, k_2, k_3$	Состав кластера (№№ ДТП или номера строк/столбцов из матрицы $L_{N \times N}$ )				
	$X(Z_c)$	$Y(Z_c)$		$C_{11}=i$	$C_{12}=j$	...	$C_{1,n1}$	
$C_1$	$X(Z_{c1})$	$Y(Z_{c1})$		$C_{11}=i$	$C_{12}=j$	...	$C_{1,n1}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$C_m$	$X(Z_{cm})$	$Y(Z_{cm})$		$C_{m,1}$	$C_{m,2}$	...	$C_{m,m1}$	

5. Вычислить координаты центра кластера:

$$X(Z_k) = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i \in C_k} X_i;$$

$$Y(Z_k) = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i \in C_k} Y_i.$$

6. Цикл для формирования очередного кластера:

а. Поиск в строках матрицы  $L_{N \times N}$ , номера которых относятся к очередному формируемому кластеру, элемента с наименьшим значением ( $L_{\min} = L_{ij}$ ), за исклю-



чением помеченных столбцов, номера которых есть в созданных кластерах и в формируемом кластере;

б. Если  $L_{min} \leq R$ , то вычислить координаты «потенциально нового» центра кластера ( $Z_n$ ), иначе перейти к п. 7 для начала формирования нового кластера;

с. Вычислить расстояния от  $Z_n$  до всех точек, входящих в  $i$ -й кластер, включая «потенциально новое» место ДТП ( $L(Z_{n,xy})$ );

д. Если все  $L(Z_{n,xy}) \leq R$ , то включить «потенциально новое» место ДТП в состав  $i$ -го кластера и перейти к п. 6.а, иначе перейти к п. 7. Можно использовать следующий вариант: если для некоторого ранее включенного в формируемый кластер места выполняется условие  $L(Z_{n,xy}) > R$ , то можно исключить из формируемого кластера такое ранее включенное место, а включить «потенциально новое» место и выполнить п. 6.д, как указано выше; результаты кластеризации будут иными (для выбора предпочтительно варианта с точки зрения практической полезности следует выполнить статистическое исследование алгоритма).

7. Выполнить поиск элемента с наименьшим значением ( $L_{min} = L_{ij}$ ) в строках и столбцах матрицы расстояний  $L_{N \times N}$ , номеров которых нет в созданных кластерах (в непомеченных строках и столбцах).

8. Если  $L_{min} > R$ , то вывести сообщение: «Сформированы  $m$  кластеров (определены  $m$  очагов аварийности с радиусом не более  $R$ )» и закончить формирование кластеров; перейти к п. 9 (вычисление значений обобщенного показателя  $Q$  для сформированных кластеров), иначе перейти к п. 4.

9. Вычисление значений обобщенного показателя  $Q$  для сформированных кластеров и среднего значения по множеству  $m$  кластеров

$$Q_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Q_i$$

10. Можно вычислить расстояния между «точками» в каждом кластере, найти наибольшее значение для каждого кластера и принять это число за диаметр круга для отображения на карте очагов аварийности. Но можно этого не делать, а обозначать  $OA$  на карте кругами с радиусом, соответствующим заданному значению  $R$ .

11. Вывести данные о кластерах ДТП:

– в форме таблицы, в которой указать количество мест ДТП в каждом  $OA$  вместо перечисления мест; выделить кластеры, у которых  $Q_i \geq Q_{cp}$  (цветом строки или символом «>» в отдельном столбце);

– в картографической форме: места  $OA$  (координаты центров всех сформированных кластеров) или места  $OA$ , у которых  $Q_i \geq Q_{cp}$ ;  $OA$  обозначить кругами с радиусом  $R$  или с «фактическим» диаметром (см. п.10).

12. Вывести общие сведения о результатах формирования кластеров:

– координаты центров кластеров, которые соответствуют центрам мест концентрации ДТП, формируемых в соответствии с задаваемыми параметрами и показателями (радиус кластера, показатель ДТП) с выделением кластеров, значение показателя которых

превышает заданное значение;

– общее количество мест ДТП, сгруппированных в кластеры ( $\alpha$ ) по сделанной выборке мест ДТП;

– отношение  $(100\alpha/N)\%$ .

Блок-схема алгоритма соответствует описанию, начиная с п. 2. Анализ структуры алгоритма показывает, что временная сложность составляет не более  $O(N^2)$ , что соответствует достаточно часто применяемым для решения задач кластеризации программным средствам [16].

**Заключение.** На основе поставленной задачи выявления мест концентрации ДТП сформулирована задача кластеризации заданных объектов с учетом заданных факторов и показателей, разработана структура данных и разработан алгоритм кластеризации заданных объектов, позволяющий в автоматическом режиме формировать данные для последующего анализа мест ДТП с использованием электронных карт и других визуальных представлений. Выполнена оценка временной сложности разработанного алгоритма.

На основе предложенного алгоритма разработан программный модуль, который находится на стадии опытной эксплуатации и позволяет формировать наборы данных о местах концентрации ДТП в формате СУБД *PostgreSQL* для заданных территорий региона и заданных интервалов времени. Эти наборы данных, как и первичные данные о ДТП, используется в геоинформационном портале ситуационного центра Губернатора Пензенской области для представления мест концентрации ДТП на электронной карте региона для анализа и выработки решений по планированию мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения в регионе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Повышение безопасности дорожного движения во всем мире. Доклад Всемирной организации здравоохранения на Генеральной Ассамблее ООН 24.08.2017 г. – 25 с. [Электронный ресурс] – URL: [https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2017/wp1/UNSG\\_Report\\_72-359\\_ru.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2017/wp1/UNSG_Report_72-359_ru.pdf) (дата обращения 11.03.2021).
2. Saffet Erdogan, Veli İlçi, Omer M. Soysal, Aysegul Kormaz. A model suggestion for the determination of the traffic accident hotspots on the turkish highway road network: a pilot study. [Электронный ресурс] – URL: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-21702015000100169&lng=en&tlng=en](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702015000100169&lng=en&tlng=en) (дата обращения 04.11.2020).
3. Показатели безопасности дорожного движения. [Электронный ресурс] – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 11.03.2021).
4. Постановление Правительства РФ от 19 сентября 2020 г. № 1502 «Об утверждении Правил учета дорожно-транспортных происшествий, об изменении и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации».
5. Приказ МВД РФ от 19 июня 2015 г. № 699 «Об организации учета, сбора и анализа сведений о дорожно-транспортных происшествиях».
6. Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (утвержден Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 года).
7. ОДМ 218.6.015–2015. Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2015. 82 с.



8. ОДМ 218.4.004-2009. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2009. – 94 с.

9. АИУС ГИБДД – оперативная помощь при ДТП. [Электронный ресурс] – URL: <https://dorpex.ru/avtomobilnoe-pravo/gibdd/aius-gibdd-operativnaya-pomoshh-pri-dtp> (дата обращения 11.03.2021).

10. Traffic Incident Management Handbook. Report № HWA-HOP-10-013. - Science Applications International Corporation (SAIC), American Transportation Research Institute, 2010. – 116 pp.

11. Jinjun Tang, Lanlan Zheng, Chunyang Han, Fang Liu, Jianming Cai. Traffic Incident Clearance Time Prediction and Influencing Factor Analysis Using Extreme Gradient Boosting Model // Hindawi. Journal of Advanced Transportation, Volume 2020, Article ID 6401082, 12 pages. [Электронный ресурс] – URL: <https://doi.org/10.1155/2020/6401082> (дата обращения 11.03.2021).

12. Piotr Olszewski, Beata Osńska, Piotr Szagała, Paweł Włodarek. Development of accident prediction models for pedestrian crossings // MATEC Web of Conferences 231, 03002 (2018) [Электронный ресурс] – URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823103002> ().

13. Буреева Н. Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП “СТАТИСТИКА”. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007. – 112 с.

14. Лекции по алгоритмам кластеризации и многомерного шкалирования. К. В. Воронцов. 21 декабря 2007 г. – [Электронный ресурс] URL: <http://www.ccas.ru/voron/download/Clustering.pdf> (дата обращения 15.02.2021).

15. Тюрин А.Г., Зуев И.О. Кластерный анализ, методы и алгоритмы кластеризации // Вестник МГТУ МИРЭА, 2014, № 2, июнь 2014, выпуск 3, С. 86 – 97.

16. DBSCAN. Основанная на плотности пространственная кластеризация для приложений с шумами [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DBSCAN> (дата обращения 15.11.2020).

17. Li, Ruimin; Pereira, Francisco Camara; Ben-Akiva, Moshe E (2018). Overview of traffic incident duration analysis and prediction. European Transport Research Review, 2018, pp. 10 - 22. . [Электронный ресурс] – URL: <https://etr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-018-0300-1> (дата обращения 04.03.2021).

18. Meraldo A. Live Prediction of Traffic Accident Risks Using Machine Learning and Google Maps. [Электронный ресурс] – URL: <https://towardsdatascience.com/live-prediction-of-traffic-accident-risks-using-machine-learning-and-google-maps-d2ceffb9389e> (дата обращения 24.02.2021)

19. Д. С. Шалымов. Алгоритмы устойчивой кластеризации на основе индексных функций и функций устойчивости. - [Электронный ресурс] URL: <https://math.spbu.ru/user/gran/soi4/shalymov4.pdf> (дата обращения 01.03.2021).

*Статья поступила в редакцию 11.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 004.912, 004.89

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0005

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И МОДЕРАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

© 2021

**Бутаев Михаил Матвеевич**, доктор технических наук, профессор,  
ученый секретарь научно-технического совета  
ОАО «Научно-производственное предприятие «Рубин»  
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, д. 2, e-mail: butaevmm@gmail.com)

**Мартышкин Алексей Иванович**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Вычислительные машины и системы»  
Пензенский государственный технологический университет  
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье приводится обзор основных методов автоматической обработки и модерации текстовых данных в социальных сетях. Проводится исследование основных методов автоматической обработки и модерации текстовых данных в социальных сетях. Рассматриваются вопросы, связанные с возможностями искусственного интеллекта как технологии для решения задачи модерации текстового наполнения социальных сетей. Алгоритм, полученный с применением *TF-IDF* меры, определяет важность слов в текстовом сообщении и успешно борется с содержащими нецензурные слова и выражения блоками, но не всегда учитывает смысл. Данный подход пригоден для онлайн-обработки, по причине нетребовательности к вычислительным ресурсам. Алгоритм, построенный с применением этого метода, работает быстро и достигает приемлемой эффективности. Установлено, что корректно классифицировать сообщения оптимальнее всего получается у нейросетевых алгоритмов. Однако для этого требуются мощные вычислительные ресурсы и при этом затрачивается большое количество времени на обработку. По этой причине такие алгоритмы более подходят для модерации текстового наполнения социальной сети в офлайн-режиме. Сделаны выводы по проведенному исследованию.

**Ключевые слова:** токсичное сообщение, аугментация данных, онлайн режим, офлайн режим, *TF-IDF*, *Word2vec*, *ELMo*.

## BASIC METHODS OF AUTOMATIC PROCESSING AND MODERATION OF TEXT DATA IN SOCIAL NETWORKS

© 2021

**Butaev Mikhail Matveyevich**, doctor of technical sciences, professor,  
scientific secretary of the scientific and technical council  
JSC "Scientific production acceptance" Rubin "  
(440000, Russia, Penza, Baidukova st., 2, e-mail: butaevmm@gmail.com)

**Martyshkin Alexey Ivanovich**, candidate of technical sciences, docent,  
associate Professor of sub-department «Computers and systems»  
Penza state technological University  
(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)

**Abstract.** The article provides an overview of the main methods of automatic processing and moderation of text data in social networks. The main methods of automatic processing and moderation of text data in social networks are being investigated. The issues related to the possibilities of artificial intelligence as a technology for solving the problem of moderation of the text content of social networks are considered. The algorithm obtained using the *TF-IDF* measure determines the importance of words in a text message and successfully combats blocks containing obscene words and expressions, but does not always take into account the meaning. This approach is suitable for online processing, due to the low demand for computing resources. The algorithm built using this method works quickly and achieves acceptable efficiency. It is established that the best way to correctly classify messages is to use neural network algorithms. However, this requires powerful computing resources and requires a large amount of processing time. For this reason, such algorithms are more suitable for moderation of the text content of a social network in offline mode. In conclusion, the conclusions on the work done.

**Keywords:** toxic message, data augmentation, online mode, offline mode, *TF-IDF*, *Word2vec*, *ELMo*.

**Введение.** В XXI веке – веке информационных технологий социальные сети (СС) дают возможность пользователям общаться и взаимодействовать *online* даже если они территориально удалены друг от друга [1]. Однако, в последнее время пользователями СС все более осознается риск потенциального ущерба, который может быть нанесен вредоносными материалами,

опубликованными в Интернет [2]. Все это позволяет пользователям СС размещать потенциально опасную информацию, которую, например, нежелательно воспринимать несовершеннолетним или психологически чувствительным людям. Такое наполнение ресурсов СС может иметь в своем составе в том числе и нецензурную лексику (мат, бранные слова и т.п.), а кроме

этого, велик риск пропаганды суицида, терроризма и т.п.

В статье рассматривается потенциал искусственного интеллекта (ИИ) для решения задачи модерации текстовой наполняемости СС. Актуальность проводимого исследования в том, что сегодня еще нет эффективных и бесплатных приложений, по своему функционалу автоматически способных отслеживать и проводить модерацию текстовых данных в рассчитанной на десятки и сотни миллионов пользователей, формирующих свои запросы-транзакции к СС.

**Цель** исследования – провести сравнительный анализ основных методов автоматической обработки и модерации текстовых данных в СС. Среди решаемых задач можно отметить: выделение токсичных сообщений и подготовка обучающей выборки; анализ современных алгоритмов обработки текстовых данных в онлайн и офлайн режимах. Объектом исследования выступает текстовое содержимое сообщений пользователей СС. В работе необходимо достичь поставленной цели в двух режимах: онлайн, когда текстовое содержимое необходимо обработать максимально быстро, чтобы пользователь не заметил нарушений в структуре работы логики приложения, и офлайн, когда временных ограничений на время обработки нет, поэтому нужно стремиться реализовать модель с максимальным качеством модерации данных.

**Материалы и результаты исследования.** Задача модерации текстовой начинки СС – классификация, при которой нужно правильно отнести сообщение к токсичному или нетоксичному классу. Допустим, у нас в тексте сообщения в СС встречаются сообщения, разделенные на два класса: токсичные (Определенно, этот человек выглядит мерзко (I). Белые люди всегда будут командовать черными (II)) и нетоксичные (Победителей не судят. Посмотри на себя: ты весь черный, как мой автомобиль (II)). Сравнение приведенных данных показывает, что токсичные сообщения могут либо содержать нецензурную лексику в явном виде, либо могут не содержать ее, но все же оскорблять кого-то или задевать чувства людей (I). Здесь решающее значение имеет контекст, где употребляется слово. Известно, что одно и то же слово, употребленное в разных контекстах, может заключать в себе разный смысл и, в результате, по-разному классифицироваться (II). Для того, чтобы правильно классифицировать сообщения, нужно располагать набором данных (корпусом текстов), где сосредоточены и токсичные, и нетоксичные сообщения [3]. В качестве такого набора данных принято использовать открытый корпус ненормативной лексики русского языка, состоящий из 7351 слова [4].

Для модерации текстового содержимого СС используют классифицированную по определенным правилам обучающую выборку. Для решения такой задачи подойдет открытый набор токсичных комментариев на русском языке [3], к достоинству которой можно отнести большое количество документов, содержащихся в ней (более 14000). Увы, применить этот

набор данных непосредственно без его коррекции не удастся, т.к. часть документов может быть размечена неверно – токсичные сообщения могут помечаться как нетоксичные и наоборот. Тогда необходимо проводить ручной анализ и обработку данных. Кроме того, можно дополнительно добавить в обучающую выборку негативные комментарии из неразмеченного открытого корпуса *RuTweetCorp* [5, 6], что поможет качественнее дать классификацию обучающей выборке, однако потребует колоссальных затрат времени на ручную обработку и классификацию.

Определение словаря используемых при общении слов и терминов – одна из главных задач при составлении обучающей выборки. Встречаются слова, похожие на плохие, но только на первый взгляд (например, слово «оглобля»). Необходимо четко разделять такие слова и относить их к нетоксичным. Сегодня, несмотря на высокий уровень развития сферы ИТ, к сожалению, идеальных систем не существует, и недобросовестные пользователи могут попытаться обмануть системы модерации содержимого с тем, чтобы алгоритм принимал завуалированное токсичное сообщение за нетоксичное, а человек понимал смысл слов в контексте. Получается замкнутый круг, в котором разработчики синтезируют новые программные средства, а пользователи тестируют их, находя всевозможные уязвимости [7]. Для обхода систем модерации содержимого широкое распространение получили варианты изменения данных, включающие в себя, например, введение дополнительных пробелов, отсутствие пробелов, использование транслитерации и т.п. На самом деле всевозможных вариантов изменения данных намного больше. Для того чтобы система была устойчива к такому набору входных данных, требуется вручную генерировать изменения и добавлять их в обучающую выборку.

**Модерация текстового содержимого СС в онлайн-режиме.** Базовую фильтрацию сообщений можно реализовать при помощи словаря запрещенных слов, когда если слово из словаря встречается в сообщении, такое сообщение однозначно можно отнести к токсичному классу. Тогда необходимо при любом взаимодействии пользователя с системой проверять загружаемую им информацию на наличие в ней слов из заранее сформированного словаря. Эта операция предполагает обработку в синхронном режиме, основная проблема будет состоять в том, что поиск данных в исходной строке должен осуществляться быстро. Наилучшим решением в этих условиях оказывается алгоритм Ахо-Корасика [8], реализующий поиск множества подстрок из словаря в конкретно заданной строке.

Как правило, при операции поиска слов в корпусе текстов, данные разбивают на термы – слова, из которых состоит текст, а также другие элементы текста [9]. Для оценки важности конкретного слова в пределах текущего документа требуется рассчитать *TF-IDF* [10]. Благодаря применению *IDF*-характеристики уменьшается вес слов, распространенных и часто

встречающихся в исследуемом тексте.

$$TF_{(t)} = \frac{m_t}{\sum_k m_k}, \quad (1)$$

где  $m_t$  – количество попаданий слова  $t$  в сообщении,  $\sum_k m_k$  – суммарное количество слов в сообщении.

$$IDF_{(t)} = \frac{|D|}{|\{d_i \in D, t \in d_i\}|}, \quad (2)$$

где:  $|D|$  – количество документов в имеющейся коллекции,  $|\{d_i \in D, t \in d_i\}|$  – количество документов из имеющейся коллекции  $|D|$ , в которую входит слово  $t$ .

Для каждого встречающегося в сообщении слова, определив  $TF \times IDF$  меру, получаем векторное представление сообщения. Итоговое произведение  $TF \times IDF$  вычисляется так, что самый большой вес будет задан для слов, специфичных для конкретного документа.

К достоинствам этого метода отнесем высокую скорость вычисления векторов для сообщений, к недостаткам – большую размерность выходного вектора, что возникает по причине анализа сообщения, которое может иметь большой объем.

Модерация текстового содержимого СС в офлайн-режиме. Если нужно понимать токсичность сообщения по его смыслу, то выше рассмотренных алгоритмов недостаточно. Сегодня известны разнообразные технические решения, базой которых являются нейронные сети. Всю область современных решений анализа текста можно разделить на несколько составляющих: работа с готовыми предобученными моделями эмбедингов (работа с *Word2Vec* или *FastText*) [11]; разработка и реализация собственных нейронных сетей и вычисление на их основе векторов слов с дальнейшим выбором множества признаков для обучения; использование новых предобученных моделей (эмбединги из языковых моделей (*ELMo*)

[12]). Рассмотрим основные алгоритмы подробнее.

Можно сказать, что алгоритм *Word2Vec*, впервые предложенный в 2013 году Т. Миколовым [13], – одно из самых существенных достижений последнего времени в области обработки естественных языков. Цель названного алгоритма – построение векторных представлений слов, не только включающих набор определенных цифр в заданном порядке, но и несущих конкретный смысл для решения задач в области анализа и обработки текста. Отметим, что каждый словесный вектор может иметь множество измерений, поэтому каждому уникальному слову в корпусе текстов присваивается вектор в пространстве. Достоинством этого алгоритма является возможность определять токсичность сообщения по его смыслу. Однако готовая модель обучается на ограниченном наборе слов, поэтому для слов, не входящих изначально в корпус текстов, не будут вычислены векторы (эмбединги), что негативно отразится на работе с данными. Для модели с максимальным качеством обработки и модерации, важно получить максимально большую обучающую выборку, что порождает другую проблему – недостатка вычислительных мощностей и времени обработки такого большого объема данных на компьютере.

Известно две основные реализации алгоритма *Word2Vec*: *Continuous Bag-Of-Words (CBOW)*, пытающийся предсказать слово, исходя из соседних слов; *Continuous Skip-gram (SG)*, пытающийся предсказать контекст, где употребляется целевое слово. Здесь основная гипотеза в том, что контекст, определяющий целевое слово, находится на ближайшем расстоянии и в ближайших словах. Ввиду этого, проводя анализ соседних слов в сообщении, можно понять, о каком целевом слове идет речь [14]. Рисунок 1 демонстрирует варианты архитектур нейронных сетей, поддерживаемые в алгоритме *Word2Vec* [15].

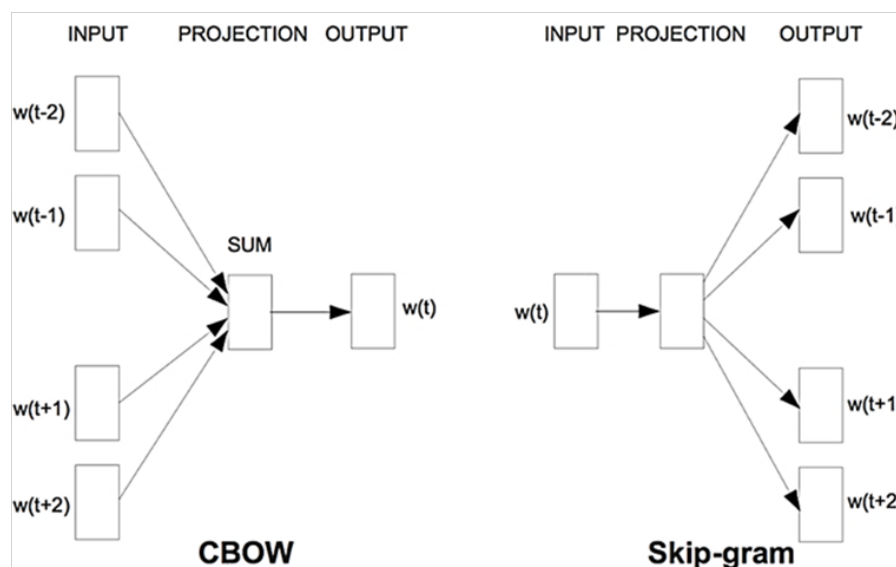


Рисунок 1 – Архитектуры нейронных сетей, поддерживаемые в алгоритме *Word2Vec*

Архитектура *Skip-gram* неплохо работает на обучающей выборке малого объема и позволяет качественно характеризовать редкие слова и фразы. В то же время

архитектура *CBOW* позволяет в разы быстрее обучить и повысить точность классификации для самых часто встречающихся слов в корпусе. Архитектура *Skip-*



*gram* обучается предсказывать контекст по заданному целевому слову, то, если два слова (соответственно, редко и часто встречающиеся) помещаются рядом, оба будут иметь одинаковое отношение, по той причине, что каждое слово рассматривается двойкой: и как целевое, и как контекстное [16]. В архитектуре *CBOW* редко встречающееся слово будет составной частью используемого для предсказания целевого слова контекста. Учитывая последовательность обучающих слов  $w_p, \dots, w_r$ , цель *Skip-gram* – максимизация средней логарифмической вероятности [17].

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{-c \leq j \leq c, j \neq 0} \log p(w_{t+j} | w_t), \quad (3)$$

где:  $c$  – размер обучающей выборки.

Большая обучающая выборка приводит к увеличению количества обучающих примеров и, как следствие, – к повышению точности классификации [18].

$$p(w_0 | w_1) = \frac{\exp(\mathcal{G}w_0 \cdot \mathcal{G}w_1)}{\sum_{w=1}^W \exp(\mathcal{G}w \cdot \mathcal{G}w_1)}, \quad (4)$$

где:  $\mathcal{G}w$  и  $\mathcal{G}w_i$  – входное и выходное векторное представление  $w$ ;  $W$  – количество слов в корпусе текстов.

*ELMo*. Алгоритм вычисления эмбедингов на основе языковых моделей, представляющий собой двунаправленную языковую модель, отличающуюся от традиционных тем, что для каждого полученного слова вычисляется вектор, который по сути своей является функцией, зависящей от всего входного предложения. В основу алгоритма заложена рекуррентная двунаправленная нейронная сеть с архитектурой *LSTM* (долгая краткосрочная память). Алгоритм предназначен для обучения на задаче языкового моделирования [19, 20].

Главное отличие алгоритма от *Word2Vec* в том, что модель не рассчитывает векторное представление для каждого слова в корпусе текстов, а кодирует входное сообщение посимвольно. Стоит сказать, что символов в языке много меньше, чем слов, поэтому каждому символу присваивается свой вектор представления, после чего рассчитанные векторные представления подаются на вход нейронной сети, где проходят через два слоя – агрегирующий и сверточный. На данном этапе входная последовательность описывается с помощью определенных признаков и передается на вход так называемой «скоростной сети». Здесь необходимо получить представления, в дальнейшем отправляемые на вход глубокой двунаправленной нейронной сети с архитектурой *LSTM* [21], которая, как правило, использует обучение без учителя. Допустим, имеется последовательность предыдущих слов, поэтому возможна попытка предсказания следующего встречающегося слова. Размер входной последовательности возможен быть произвольным, т.к. используется рекуррентная нейронная сеть, поэтому ограничение в виде фиксированного скользящего окна контекста, свойственного традиционным моделям, здесь снимается [22].

*FastText*. Алгоритм *FastText* является развитием *Word2Vec* [23, 24]. Главный недостаток предобученной модели эмбедингов *Word2Vec* состоит в том, что обработка, обучение и построение результирующих векторов выполняется на словах, описанных только в корпусе текстов. Поэтому для слов, отсутствующих в начальной обучающей выборке, векторы рассчитаны не будут, что ухудшает конечную точность. Разработчики из *Facebook* предложили разбивать слова на  $n$ -граммы для учета морфологических единиц исследуемого языка [22]. С семантической точки зрения  $n$ -грамма – последовательность звуков, слогов, слов или букв заданной длины [25]. По этой причине стало возможным рассматривать при обработке не только слова, но и их составные части – корни, приставки, суффиксы и окончания, тем самым закрывая проблему для слов, не входящих в начальный корпус текстов. Итак, когда рассматриваемое слово разбито на  $n$ -граммы и для каждого из них рассчитано векторное представление, то для получения векторного представления всего слова целиком достаточно сложить полученные вектора.

**Заключение.** В статье рассмотрены современные механизмы решения задачи модерации текстовых сообщений. Отмечены сильные и слабые стороны существующих алгоритмов и показаны ситуации, когда предпочтительнее применять тот или иной алгоритм.

При выборке и дальнейшем исключении запрещенных слов по словарю результаты зависят от выбора алгоритма поиска в заданном сообщении. Применяя такой подход возможно быстро определять некоторые токсичные блоки данных и блокировать их до передачи в основной алгоритм модерации. Но всё-таки данный метод может модерировать только слова, не вникая в смысл сообщений. Для первичной обработки текста в онлайн-режиме данный подход подойдет вполне.

Алгоритм, полученный с применением статистической *TF-IDF* меры, качественно определяет важность слов в документе и успешно борется с нецензурными словами и выражениями, содержащимися в сообщениях. Этот алгоритм целесообразно использовать для онлайн-обработки, ввиду его небольших требований к вычислительным ресурсам и эффективной работе.

Корректно классифицировать сообщения, основываясь на их смысле, содержании и семантических связях, лучше всего получается у нейросетевых алгоритмов и предобученных моделей эмбедингов. Однако их реализация требует значительных вычислительных мощностей и времени на обработку информации. Поэтому данные алгоритмы целесообразно использовать для модерации текстового контента в офлайн-режиме.

Что касается существующих средств автоматической модерации текстового контента, то такие, обычно платные средства, либо имеют ограничения по количеству транзакций, обрабатываемых в единицу времени, либо не способны поддерживать обработку русского языка [26].



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Социальные сети и виртуальные сетевые сообщества / отв. ред. Верченков Л. Н., Ефременко Д. В., Тищенко В. И. – М.: ИНИОН РАН, 2013. – 360 с.
2. Мкртчян, Л.М. Риски и угрозы социальной безопасности личности в сетевом коммуникативном пространстве: к постановке проблемы // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2013. – № 8. – С. 149-155.
3. Определение токсичных комментариев на русском языке [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/mailru/blog/526268/> (дата обращения: 18.04.2021).
4. Корпус ненормативной лексики русского языка для нужд NLP [Электронный ресурс]. – URL: [https://github.com/odaykhovskaya/obscene\\_words\\_ru/blob/master/obscene\\_corpus.txt](https://github.com/odaykhovskaya/obscene_words_ru/blob/master/obscene_corpus.txt) (дата обращения: 15.04.2021).
5. Рубцова Ю. В. Автоматическое построение и анализ корпуса коротких текстов (постов микроблогов) для задачи разработки и тренировки тонового классификатора // Инженерия знаний и технологии семантического веба. – 2012. – Т. 1. – С. 109-116.
6. Рубцова Ю. В. Построение корпуса текстов для настройки тонового классификатора // Программные продукты и системы. – 2015. – №1(109). – С.72-78.
7. Гленфорд Майерс, Том Баджетт, Кори Сандлер. Искусство тестирования программ, 3-е издание = The Art of Software Testing, 3rd Edition. – М.: «Диалектика», 2012. – 272 с.
8. Алгоритм Ахо-Корасика - Алгоритмика [Электронный ресурс]. – URL: <https://algorithmica.org/ru/aho-corasick/> (дата обращения: 19.04.2021).
9. McCormick, C. (2017, January 11). Word2Vec Tutorial Part 2 – Negative Sampling. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mccormickml.com> (дата обращения: 15.04.2021).
10. Jones K. S. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval (англ.) // Journal of Documentation: журнал. – MCB University: MCB University Press, 2004. – Vol. 60, no. 5. – PP. 493-502.
11. Обзор четырёх популярных NLP-моделей [Электронный ресурс]. – URL: <https://proglab.io/p/obzor-chetyreh-populyarnyh-nlp-modeley-2020-04-21> (дата обращения: 17.04.2021).
12. Передача обучения с использованием ELMO Embeddings [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.machinelearningmastery.ru/transfer-learning-using-elmo-embedding-c4a7e415103c/> (дата обращения: 16.04.2021).
13. Курс по теоретическому глубокому машинному обучению Deep Learning в NLP. Лекции 1–5. [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/deepmip/tdl> (дата обращения: 15.04.2021).
14. Church K. W. Word2Vec // Natural Language Engineering. – 2017. – Т. 23. – № 1. – С. 155-162.
15. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., and Dean, J. Efficient estimation of word representations in vector space [Электронный ресурс]. – URL: [http://icybcluster.org.ua:34145/technology-documents/Efficient\\_Estimation\\_of\\_Word\\_Representations\\_in\\_Vector\\_Space.pdf](http://icybcluster.org.ua:34145/technology-documents/Efficient_Estimation_of_Word_Representations_in_Vector_Space.pdf) (дата обращения: 16.04.2021).
16. Skip-Gram: алгоритм прогнозирования слов контекста НЛП [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.machinelearningmastery.ru/skip-gram-nlp-context-words-prediction-algorithm-5bbf34f84e0c/> (дата обращения: 18.04.2021).
17. Levy O., Goldberg Y. Linguistic regularities in sparse and explicit word representations // Proceedings of the eighteenth conference on computational natural language learning. – 2014. – С. 171-180.
18. Levy O., Goldberg Y. Dependency-based word embeddings // Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers). – 2014. – Т. 2. – С. 302-308.
19. Pennington J., Socher R., Manning C. Glove: Global vectors for word representation // Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP). – 2014. – С. 1532-1543.
20. Bojanowski P. et al. Enriching word vectors with subword information // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2017. – Т. 5. – С. 135-146.
21. Двухнаправленные (bidirectional) рекуррентные нейронные сети [Электронный ресурс]. – URL: [https://proporprogs.ru/neural\\_network/bidirectional-rekurrentnye-neyronnye-seti](https://proporprogs.ru/neural_network/bidirectional-rekurrentnye-neyronnye-seti) (дата обращения: 16.04.2021).
22. Short text classification in twitter to improve information filtering / B. Sriram, D. Fuhry, E. Demir, H. Ferhatosmanoglu, M. Demirbas // Proceedings of the 33rd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM. 2010. Geneva, Switzerland. P. 841–842.
23. Как работает FastText и где ее применять [Электронный ресурс]. – URL: <https://sysblok.ru/nlp/kak-rabotaet-fasttext-i-gde-ee-primenjat/> (дата обращения: 19.04.2021).
24. Анализ настроений FastText для твитов: простое руководство. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.machinelearningmastery.ru/fasttext-sentiment-analysis-for-tweets-a-straightforward-guide-9a8c070449a2/> (дата обращения: 19.04.2021).
25. N-грамма кратко [Электронный ресурс]. – URL: <https://intellect.icu/n-gramma-9505> (дата обращения: 16.04.2021).
26. Построение автоматической системы модерации сообщений [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/454628/> (дата обращения: 18.04.2021).

*Статья поступила в редакцию 13.05.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 681.5.011

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0006

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ РЕГИОНА

© 2021

**Кузнецова Елена Валентиновна**, старший преподаватель кафедры «Цифровая экономика»  
*Брянский государственный технический университет*

(241012, Россия, г. Брянск, бул. 50-летия Октября, 7, e-mail: [helena\\_a81@mail.ru](mailto:helena_a81@mail.ru))

**Аннотация.** Геолого-экономическая переоценка в условиях рыночной экономики несомненно важна. Минерально-сырьевая база всех видов полезных ископаемых, сформированная в прошлом столетии, не соответствует современным методам геолого-экономической оценки. В цифровом развитии всех промышленных отраслей данное исследование приобретает особую актуальность. Основной проблемой автором выделяются устаревшие методики геолого-экономической оценки запасов. Экономическая оценка запасов месторождений имеет специфические особенности, связанные со сложностью разработки некоторых месторождений, находящихся в труднодоступных районах или обусловленные наличием «трудно извлекаемых» запасов месторождений. В статье предложены рекомендации, позволяющие произвести скорректированную переоценку в современных рыночных условиях, учитывая социально-экономическое развитие конкретного региона, а также пограничные прогнозные ресурсы. За основную величину в переоценке запасов необходимо использовать рыночную цену на добываемое сырье с привязкой к текущему времени и конкретному региону. Применяв рекомендации с практической точки зрения возможно получение нераспределенного фонда недр с переоцененными запасами залежей твердых полезных ископаемых, что позволит сфокусировать на себе внимание потенциальных недропользователей, и как следствие в будущем будет способствовать благополучному развитию минерально-сырьевой базы нашего государства.

**Ключевые слова:** минерально-сырьевой комплекс региона, недропользование, управление социально-экономической системой.

## METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE EFFICIENCY OF GEOLOGICAL EXPLORATION WORKS IN THE CONTROL SYSTEM OF THE REGIONAL MINERAL RESOURCES COMPLEX

© 2021

**Kuznetsova Elena Valentinovna**, senior lecturer of «Digital Economy»

*Bryansk State Technical University*

(7, 50-letiya Oktyabrya Blvd., Bryansk, 241012, Russia, e-mail: [helena\\_a81@mail.ru](mailto:helena_a81@mail.ru))

**Abstract.** Geological and economic reassessment in a market economy is undoubtedly important. The mineral resource base of all types of minerals formed in the last century does not correspond to modern methods of geological and economic assessment. In the digital development of all industrial sectors, this study is particularly relevant. The main problem of the author is the outdated methods of geological and economic assessment of reserves. The economic assessment of field reserves has specific features related to the complexity of the development of some fields located in hard-to-reach areas or due to the presence of "hard-to-recover" field reserves. The article offers recommendations that allow us to make an adjusted revaluation in modern market conditions, taking into account the socio-economic development of a particular region, as well as the border forecast resources. For the main value in the revaluation of reserves, it is necessary to use the market price for the extracted raw materials with reference to the current time and a specific region. Applying the recommendations from a practical point of view, it is possible to obtain an undistributed subsoil fund with overvalued reserves of solid mineral deposits, which will focus the attention of potential subsurface users, and as a result, in the future will contribute to the successful development of the mineral resource base of our state.

**Keywords:** mineral resource complex of the region, subsurface use, management of the socio-economic system.

**Введение.** В настоящее время одной из ключевых задач, решение которой заслуживает особого внимания, является разработка методики прогнозирования эффективности геологоразведочных работ в системе управления минерально-сырьевым комплексом региона.

На государственном уровне поставлена задача развития геологической отрасли до 2030 года [1]. Принята государственная программа Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» [2]. В данном документе нами в частности рассматривается подпрограмма 1, цель которой сводится к расширению и восполнению минерально-сырьевой

базы РФ для сохранения баланса между извлекаемыми природными богатствами и их запасами. Эта задача является бесспорно важной, от качественного выполнения которой зависит благополучное дальнейшее развитие минерально-сырьевого комплекса и экономики страны в целом.

По состоянию на 2019-2020 год минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых России насчитывает 13601 месторождение, из них 6911 с выданными лицензиями на недропользование, 3529 из них предусматривают проведение на них геологоразведочных работ, с соответствующим финансированием, порядка 2320 лицензий выдано в рамках заявительного

принципа. Число ежегодных открытий новых месторождений колеблется от 80 до 125 [3,4].

Финансирование геологоразведочных работ в стране в основном приходится на золото – порядка 60%, прочие благородные металлы – около 6%, на алмазы приходится 13%, на медь – 9-10%, 5% на угли, на неметаллические природные ископаемые около 6%. По стадиям геологоразведочных работ, затраты расходуются неравномерно, примерно две трети финансов из бюджета расходуется на этапы разведки и лишь одна треть на поиски и оценку. Таким образом, на работы ранних стадий приходится порядка 15% от общего объема финансирования геологоразведочных работ. Однако, ситуация совершенно разная в отношении различных твердых полезных ископаемых. Так, например, для хромовых и железных руд процентный показатель снижается почти до 5%, а на поиски и оценку калийных солей возрастает до 80% [3,4].

Неравномерность распределения финансирования приводит к сложностям на этапах оценки и как следствие, неполноценной геолого-экономической оценке месторождений твердых полезных ископаемых.

Данное исследование выполнено по научной специальности «управление в социальных и экономических системах», объектом исследования в рамках данной статьи является минерально-сырьевой комплекс региона. **Предметом** исследования является разработка методики оценки эффективности геологоразведочных работ в системе управления минерально-сырьевым комплексом региона.

Формирование модели управления минерально-сырьевым комплексом региона и описание его отдельных элементов терминах теории управления приводится автором в предшествующей работе [5].

**Материалы и результаты исследования.** Основываясь на описанных выше фактах, актуализируется вопрос о пересмотре ранее используемых методик оценки запасов полезных ископаемых по твердым

полезным ископаемым с учетом развития экономики. Возникает необходимость в формировании конкретизирующей модели, учитывающей разделение и учет запасов твердых полезных ископаемых. Имея данные о переоценке нераспределенного фонда недр, можно сформировать инструментарий, позволяющий актуализировать перспективы использования имеющейся минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых и повысить ее ликвидность.

Таким образом, требуется разработать методику прогнозирования эффективности геологоразведочных работ в системе управления минерально-сырьевым комплексом региона.

*Теоретические исследования.* Методика оценки эффективности геологоразведочных работ включает в себя как составной элемент геолого-экономическую оценку запасов и прогнозных ресурсов минерального сырья. Геолого-экономическая оценка проводится при проектировании и завершении каждой стадии геологоразведочных работ и является самостоятельным разделом при составлении технико-экономических соображений и технико-экономического обоснования временных и постоянных кондиций и промышленного освоения месторождения, при переуступке права недропользования на освоение месторождения, а также при подготовке аукциона на право разработки месторождений, учтенных Государственным балансом запасов полезных ископаемых [3,9,10,12].

Количественную и качественную оценку запасов полезных проводят на протяжении всех этапов геологоразведки. По результатам производятся расчеты, в которых учитываются кондиции, для возможности разграничения на балансовые и забалансовые полезные ископаемые, согласно закону РФ «О недрах» [6]. На протяжении всего срока эксплуатации месторождения проводится периодический учет движения запасов, потерь и разубоживания (рисунок 1 – формализован автором).



Рисунок 1 – Классификация запасов твердых полезных ископаемых по критерию учета в структуре баланса запасов

Прогнозные ресурсы по сути являются фундаментом для оценки дельнейшего развития минерально-сырьевой базы страны и отдельных регионов, определения направлений и очередности поисковых и оценочных работ, а в дальнейшем и для решения задачи прироста разведанных запасов.

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов основывается на величине, качестве, типе предполагаемого месторождения и условиях его освоения. Геолого-экономическая значимость прогнозных ресурсов устанавливается лишь при условии, что известны их количество и содержание полезных компонентов в некотором первоначально выделенном объеме оруденелых пород [7-9]. Так же, геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов содержит в себе совокупность данных об имеющихся природных запасах и хозяйственной потребности в их извлечении и переработке. Оценка сама по себе не производится однократно или в определенный период времени, она является сложной процедурой, включающей последовательность расчетов, постепенно приводя конечный результат к экономическому эффекту.

Количественная оценка предполагаемого месторождения, представления о форме, размере, условиях залегания и качестве полезного ископаемого базируется на данных и всесторонней информации об аналогичных месторождениях [14,15]. Исследования должны обеспечить отбраковку рудопроявлений, которые могут иметь отдельные признаки месторождений (так называемые ложные аномалии, минералы, не образующие промышленных скоплений и т.п.), уточнить тип и формационную принадлежность, количество и содержание полезных компонентов предполагаемого месторождения.

Бурение единичных скважин позволяет подтвердить наличие оруденения на глубине, однако сведения о величине содержания в первичных рудах месторождений с резкой изменчивостью содержания обладают малой представительностью. Поэтому содержание полезного компонента прогнозных ресурсов ниже минимального промышленного для аналогичных месторождений не может служить основанием для отбраковки потенциального месторождения. Только детальный анализ результатов геолого-экономической оценки прогнозных ресурсов  $P_2$  может быть основанием отнесения выявленного месторождения к перспективным рудопроявлениям.

Основными показателями экономической оценки прогнозных ресурсов категории  $P_2$  являются их ценность и экономическая эффективность освоения потенциально-рационального месторождения.

Ценность прогнозных ресурсов категории  $P_2$  такого месторождения может быть определена, основываясь на предположительном количестве ресурсов и величине содержащегося в нем полезного ископаемого. Так же необходимо учесть затраты на собственно добычу и извлечение при обогащении. Вероятностную оценку прогнозных ресурсов, не включающую в себя потери, можно оценить следующим образом:

$$C_n = \left\{ \left[ C \times \frac{C}{100} \times (1 - P) \times I_o \right] - (Z_d + Z_o) \right\} \times Q \times (1 - \Pi), \quad (1)$$

где  $C$  – величина ценности чистого ископаемого в денежном эквиваленте;

$C$  – процент содержащегося полезного ископаемого в недрах;

$P$  – величина разубоживания при добыче, ед.;

$I_o$  – значение извлеченного ископаемого при обогащении, ед.;

$Z_o$  и  $Z_d$  – величина затрат (добыча и обогащение);

$Q$  – подсчитанные запасы руды на момент времени расчета;

$\Pi$  – коэффициент потерь при добыче.

Как правило при подсчетах потенциальной ценности используют средние значения.

Расчет вероятностной оценки прогнозных ресурсов и расчет их потенциальной ценности по формуле (1) является с нашей точки зрения не совсем достоверным, так как за величину ценности чистого ископаемого в денежном эквиваленте (цены концентрата) можно взять мировую усредненную цену чистого ископаемого, что в большинстве случаев не будет отражать современное состояние цен в отдельных регионах и федеральных округах РФ, что неизбежно влечет искажение конечных цифр расчета. Также, используемые при расчетах величины затрат на добычу и обогащение разнятся в регионах, логистические сети не на всех предприятиях имеют хорошо развитую инфраструктуру, что неизбежно сказывается на конечной стоимости готового продукта.

Годовой доход горного предприятия определяется потенциальной ценностью прогнозных ресурсов и временем существования горного предприятия.

В зависимости от полученных результатов прогнозных ресурсов  $P_2$  подразделяются на высокоэффективные – рентабельность которых свыше 60%, эффективные – рентабельность которых от 30 до 60% и низкоэффективные – рентабельность которых ниже 30%. Указанные величины в значительной степени условны и уточняются в каждом конкретном случае в зависимости от вида полезного ископаемого, масштаба и месторасположения предполагаемого месторождения.

Целесообразность проведения поисково-оценочных работ основывается на сопоставлении потенциальной ценности прогнозных ресурсов с учетом их достоверности, затрат на проведение и определяется ожидаемым экономическим эффектом:

$$\mathcal{E} = C_n \times D - Z \times (1 - D), \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}$  – потенциальный экономический эффект предстоящих поисково-оценочных работ, млн. руб.;

$C_n$  – потенциальная ценность прогнозных ресурсов, млн. руб.;

$D$  – достоверность подсчитанных ресурсов, доли единицы;

$Z$  – затраты на проведение поисково-оценочных работ, млн. руб.



Достоверность прогнозных ресурсов подсчитывается для каждого потенциального месторождения.

При поисково-оценочных работах для оценки промышленного значения месторождения наряду с запасами категории  $C_2$  используются и ресурсы  $P_1$ . В зависимости от конкретных условий количество прогнозных ресурсов обычно учитывается поправочным коэффициентом, величина которого колеблется от 0,5 до 0,8. В свою очередь, экономическая эффектив-

ность представляет собой относительный показатель результата и понесенных предприятием затрат на его достижение.

*Экспериментальные исследования.* Расчеты с использованием модели системы управления минерально-сырьевым комплексом региона в части твердых полезных ископаемых позволили определить эффективность геологоразведочных работ за анализируемый годовой период (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка эффективности геологоразведочных работ за анализируемый период

№	Вид сырья	Прирост запасов	Стоимость разведанных запасов, млн. руб.	Финансирование ГРР, млн. руб.	Эффективность ГРР, руб./руб.
1	Пески стекольные, тыс. т	32600	2237	248,79	8,99
2	Пески строительные, тыс. куб. м	47766	3224	248,79	12,96
3	Кирпично-черепичное сырье, тыс. куб. м	6809	294	41,47	7,09
4	Тугоплавкие глины, тыс. т	12200	1976	66,34	29,78
5	Бентонитовые глины, тыс. т	3300	4306	41,47	103,85
6	Каменная соль, тыс. т	3869	3670	41,47	88,51
7	Фосфатные титан-циркониевые руды, млн. т	27,0	1880	8,29	226,70
8	Цеолиты, тыс. т	3340	8416	41,47	202,97
9	Трепел, тыс. м <sup>3</sup>	1388	3498	24,88	140,60
10	Цементное сырье, тыс. т	9200	248	66,34	3,74
	Всего	120499	29749	829,3	-

При формировании таблицы использовались данные из открытых источников [4] и выполнялся расчет эффективности геологоразведочных работ по выше обозначенной методике.

Анализ таблицы 1 позволяет сделать вывод о наибольшей экономической эффективности геологоразведочных работ по фосфатным титан-циркониевым рудам, цеолитам и трепелу. Стоит отметить, что стоимость разведанных запасов является агрегированной величиной, актуальной на момент оценки запасов.

В системе управления минерально-сырьевым комплексом региона необходимо в постоянно действующем динамическом режиме оценивать имеющиеся запасы по видам сырья и оперативно корректировать управляющее воздействие во избежание образования ситуации дефицита ресурсов или их избыточности, снижающей рентабельность разработки ряда объектов [17].

**Заключение.** Для недопущения дальнейшего негативного развития и обеднения минерально-сырьевой базы автором предлагается пересмотр существующих устаревших методик по расчету запасов и прогнозных ресурсов с учетом нынешних цен на добываемое сырье и введением дополнительных корректирующих коэффициентов, учитывающих при расчетах вероятностной оценки прогнозных ресурсов и расчетах их потенциальной ценности по вышеуказанным методам.

Методы расчета не отражают полной достоверной картины, не в полном объеме учитывают потери не только при добыче полезного ископаемого, но и в стоимости конечного продукта.

Введение поправочных (корректирующих) коэффициентов при расчетах, с учетом социально-экономического уровня развития регионов позволит получать расчеты на более достоверном качественном уровне, что повлечет за собой внимание к месторождениям как

со стороны недропользователей, так и государства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года [Электронный ресурс] // URL: [http://www.mnr.gov.ru/docs/strategii\\_i\\_doktriny/strategiya\\_razvitiya\\_geologicheskoy\\_otrasli\\_do\\_2030\\_goda/](http://www.mnr.gov.ru/docs/strategii_i_doktriny/strategiya_razvitiya_geologicheskoy_otrasli_do_2030_goda/) (дата обращения 18.03.2021).
2. Государственная программа Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 322) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/9613.html> (дата обращения: 03.03.2021).
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году» [Электронный ресурс] // URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/) (дата обращения 15.03.2021).
4. Справка о состоянии и перспективах использования МСБ [Электронный ресурс] // URL: <https://rosnedra.gov.ru/page/516.html/> (дата обращения 15.03.2021).
5. Kuznetsova, E., Dadykin, V. Analysis of an Industrial and Raw Material Facility as a Socio-Economic System. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020; Vladivostok; Russian Federation. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271435.
6. Закон РФ "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1 (в редакции от 08.06.2020 N 179-ФЗ) [Электронный ресурс] // URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_343/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/) (дата обращения 03.03.2021).
7. Бежанова М.П. Минеральные ресурсы мира и экономический механизм управления минерально-сырьевым сектором / М.П. Бежанова, С.К. Бежанов. – М.: Геоинформмарк. – 2007. – 384 с.
8. Михайлов Б.К. О программно-целевом принципе планирования воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых / Б.К. Михайлов, В.П. Михайлова, Б.И. Беневольский // Отечественная геология. – 2013. – № 6. – С. 3-11.
9. Ставский А.П. Зарубежный опыт организации геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые и возможности его применения в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2013. – № 1. – С. 55-57.
10. Кузнецова Е.В. Влияние геолого-экономической переоценки запасов на эффективность деятельности предприятий // Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие. Сборник статей. – Брянск. – 2020. – С. 486-491.



11. Кузнецова Е.В. Геоинформационная система как технология поддержки принятия решений /Е.В. Кузнецова, В.С. // Инновационное развитие предпринимательской деятельности региона. Сборник статей.- Брянск. – 2020. – С. 50-54.

12. Кузнецова Е.В. Минерально-сырьевой комплекс брянской области: состояние, проблемы, развитие // Социально-экономическое развитие Брянской области: тенденции и перспективы. Сборник статей. – Москва.- 2020. - С. 55-59.

13. Волков А.В. О развитии минерально-сырьевого комплекса России / А.В. Волков, А.А. Сидоров // Вестник Рос. акад. наук. – 2015. – Т.85. – N 4. – С.351-358.

14. Карпузов А.Ф. Стратегические векторы развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на современном этапе (выбор пути) / А.Ф. Карпузов, А.В. Тарасов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2015. – № 6. – С. 2-12.

15. Прокофьева Л.М. Создание рынка геологической продукции – важнейшее условие воспроизводства минерально-сырьевой базы / Л.М. Прокофьева, С.С. Макиев // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 7. – С.1043–1046.

16. Козловский Е.А. Минерально-сырьевой комплекс и национальная безопасность // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 3. – С. 3–10.

17. Кузнецова Е.В. Состояние и перспективы развития методик геолого-экономической оценки месторождений / Е.В. Кузнецова, В.С. Дадыкин // Актуальные проблемы социально-гуманитарных исследований в экономике и управлении. Сборник статей. – 2020. – С. 231-236.

*Статья поступила в редакцию 23.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 624.071.22:531.62

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0007

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГИБКОЙ НИТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНОГО УДАРА

© 2021

**Тарасов Денис Александрович**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Автоматизированные системы безопасности»

*Пензенский государственный университет*  
(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: tarasov.denis.penza@gmail.com)

**Коновалов Владимир Викторович**, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Технология машиностроения»

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

**Данилов Александр Леонидович**, инженер-электрик

*ООО «Радиорубеж»*  
(440052, Россия, Пенза, ул. Гоголя, д. 60, e-mail: danilov\_al@radiatorubezh.ru)

**Бобылев Анатолий Иванович**, доцент кафедры «Физика и математика»

*Пензенский государственный аграрный университет*  
(440014, Россия, Пенза, ул. Ботаническая, д. 30, e-mail: bobylev.anatoly@mail.ru)

**Аннотация.** В настоящее время известные методы расчета, например метод конечных элементов, нацелены на проверку уже существующих конструкций и малопригодны при создании вновь проектируемых систем. Иначе говоря, существующие методы решают прямую задачу и не позволяют решить обратную или задачу выбора. Целью данной работы является разработка метода ориентированного на решение задачи подбора в частности целенаправленного выбора из бесчисленного множества возможных пар массы и скорости ударяющего тела, удовлетворяющих условию прочности гибкой нити. Этот подход позволит разработчику противотаранных устройств легко скорректировать требования по массе и скорости, предъявляемые к изделию при остановке транспортного средства, пытающегося прорваться на охраняемую территорию. Объектом исследования выступают основные силовые элементы механических систем, обеспечивающие общую прочность конструкции, для которых расчетной моделью служит гибкая нить. Предметом исследования является метод по определению области несущей способности гибкой нити при действии поперечной кратковременной динамической нагрузки. Приведен пример построения области несущей способности для гибкой нити с заданными физическими и геометрическими характеристиками.

**Ключевые слова:** область несущей способности, гибкая нить, удар, напряжения, деформации, геометрическая нелинейность.

## DETERMINATION OF THE REGION OF CARRYING CAPACITY OF A FLEXIBLE THREAD DURING ACTION CROSS IMPACT

© 2021

**Tarasov Denis Aleksandrovich**, candidate of Technical Sciences,  
associate professor of the Department "Automated security systems"

*Penza State University*  
(440026, Russia, Penza, Krasnaya st., 40, e-mail: tarasov.denis.penza@gmail.com)

**Konovalev Vladimir Viktorovich**, doctor of Technical Sciences, professor,  
professor of the Department of Mechanical Engineering

*Penza State Technological University*  
(440039, Russia, Penza, Baydukov proezd / Gagarina st., 1a / 11, e-mail: konovalov-penza@rambler.ru)

**Danilov Alexander Leonidovich**, electrical engineer

*LLC "Radioorubezh"*  
(440052, Russia, Penza, Gogol st., 60, e-mail: danilov\_al@radiatorubezh.ru)

**Bobylev Anatoly Ivanovich**, associate professor of the Department of Physics and Mathematics  
*Penza State Agrarian University*

(440014, Russia, Penza, Botanicheskaya st., 30, e-mail: bobylev.anatoly@mail.ru)

**Abstract.** At present, well-known calculation methods, for example, the finite element method, are aimed at checking existing structures and are of little use for creating newly designed systems. In other words, the existing methods solve the direct problem and do not allow solving the inverse or the choice problem. The purpose of this work is to develop a method for solving the problem of selection, in particular, a targeted choice from an infinite set of possible pairs of mass and velocity of the striking body that satisfy the condition of the strength of a flexible thread. This approach will allow the developer of anti-ram devices to easily adjust the weight and speed requirements for the product when a vehicle stops trying to break into a protected area. The object of the research is the main load-bearing elements of mechanical systems

that provide the overall strength of the structure, for which a flexible thread serves as a design model. The subject of the research is a method for determining the area of the bearing capacity of a flexible thread under the action of a transverse short-time dynamic load. An example of constructing a bearing capacity region for a flexible thread with given physical and geometric characteristics is given.

**Keywords:** area of bearing capacity, flexible thread, impact, stresses, deformations, geometric nonlinearity.

**Введение.** Известные методы расчета направлены на проверку конструкции, а именно оценку уже существующего конструктивного решения и не позволяют ставить задачи по поиску одного из возможных вариантов. Так, при расчете в коммерческих программных комплексах, в основу которых положен метод конечных элементов, предварительно необходимо знать граничные условия, а также в полной мере геометрические и физико-механические характеристики рассчитываемой конструкции, а кроме того нагрузку, вызывающую внутренние усилия и деформации в ее элементах [1]. В рассматриваемом случае нагрузка задается в виде импульса, а объектом исследования являются основные силовые элементы механических систем, для которых в качестве расчетной схемы служит гибкая нить, воспринимающая указанную нагрузку [2].

**Целью** данной работы является разработка метода определения области несущей способности гибкой нити при действии поперечного удара, ориентированного на решение задачи подбора в частности целенаправленного выбора из бесчисленного множества возможных пар массы и скорости ударяющего тела, удовлетворяющих условию прочности рассматриваемого элемента [3]. В качестве примера, такой подход в случае необходимости позволит разработчику противотаранных устройств легко скорректировать требования по массе и скорости, предъявляемые к изделию при остановке транспортного средства, пытающегося прорваться на охраняемую территорию объекта [4, 5, 6].

**Материалы и результаты исследования.** Рассмотрим гибкую нить, работающую по восприятию инерционной нагрузки, возникающей вследствие удара горизонтально движущимся телом. Расчетная модель представлена на рисунке 1 [7, 8, 9].

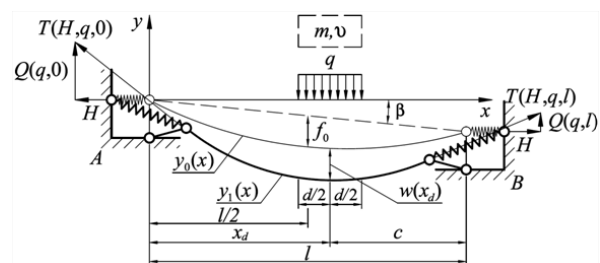


Рисунок 1 – Расчетная модель гибкой нити:  
— начальное состояние линии равновесия;  
— конечное состояние линии равновесия.

Несущая способность гибкой нити является характеристикой, которая выражается величиной нагрузки, соответствующей значению, вызывающему предельное состояние по прочности рассматриваемого эле-

мента.

Условие прочности, предъявляемое к гибкой нити, записывается в виде неравенства, функционально зависящего от величин инерционной нагрузки и распора, возникающего в рассчитываемой системе вследствие ее действия:

$$T(H, q, x_1) \leq [\sigma] \cdot A, \quad (1)$$

где  $T(H, q, x_1)$  – значение функции продольного усилия в сечении с заданной абсциссой  $x_1$ , Н;  $H$  – распор, горизонтальная проекция опорной реакции в точках крепления, Н;  $q$  – поперечная равномерно-распределенная нагрузка, являющаяся эквивалентом силы инерции, Н/м;  $[\sigma]$  – предельно допустимое напряжение материала, Па;  $A$  – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>.

Распор и инерционная нагрузка являются параметрами функции, поскольку к моменту нахождения продольного усилия их значения не определены.

Изменение величины продольного усилия по длине гибкой нити находится по формуле [10]:

$$T(H, q, x) = \sqrt{H^2 + (Q(q, x) + H \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}, \quad (2)$$

где  $x$  – текущая абсцисса ( $0 \leq x \leq l$ ), м;  $Q(q, x)$  – функция поперечной силы от действия инерционной нагрузки в балке пролетом  $l$ , имеющей по концам цилиндрические неподвижные опоры, Н;  $\beta$  – угол наклона хорды АВ, соединяющей точки крепления, град.

Функции внутренних усилий, возникающих при действии внешних силовых факторов в балке пролетом  $l$ , имеющей по концам цилиндрические неподвижные опоры, можно записать в виде:

$$Q(q, x) = \frac{q \cdot d \cdot c}{l} \cdot (x \geq 0) - q \cdot \left[ x - \left( x_d - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left( x > x_d - \frac{d}{2} \right) + q \cdot \left[ x - \left( x_d + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left( x > x_d + \frac{d}{2} \right); \quad (3)$$

$$M(q, x) = \frac{q \cdot d \cdot c}{l} \cdot x \cdot (x \geq 0) - q \cdot \frac{\left[ x - \left( x_d - \frac{d}{2} \right) \right]^2}{2} \cdot \left( x > x_d - \frac{d}{2} \right) + q \cdot \frac{\left[ x - \left( x_d + \frac{d}{2} \right) \right]^2}{2} \cdot \left( x > x_d + \frac{d}{2} \right); \quad (4)$$

где  $d$  – ширина зоны контакта, м;  $c$  – расстояние от центра зоны контакта до опоры В, м;  $x_d$  – абсцисса центра зоны контакта, м;  $M(q, x)$  – функция изгибающего момента, Н×м.

Для нахождения распора и инерционной нагрузки воспользуемся вторым разрешающим уравнением.

Данным уравнением является условие неразрывности деформаций в гибкой нити [11]:

$$L_0 + \Delta L(H, q) = L_1(H, q), \quad (5)$$

где  $L_0$  – начальная длина, м;  $\Delta L(H, q)$  – упругая деформация, м;  $L_1(H, q)$  – конечная длина, м.

Далее запишем выражения по определению всех членов, составляющих уравнение неразрывности деформаций.

Первоначальная длина гибкой нити равна [12]:

$$L_0 = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dx} y_0(x)\right)^2} dx, \quad (6)$$

где  $y_0(x)$  – кривая начального очертания, м;  $l$  – пролет, м.

Кривая начального очертания с достаточной степенью точности может быть описана уравнением параболы [13]:

$$y_0(x) = \frac{4 \cdot f_0}{l^2} \cdot x^2 - \frac{4 \cdot f_0}{l} \cdot x - x \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (7)$$

где  $f_0$  – стрела провеса от действия собственного веса в середине пролета, м.

Величина упругих деформаций определяется по выражению, полученному в ранее опубликованных работах [13]:

$$\Delta L(H, q) = \frac{H}{E \cdot A} \cdot \int_0^l \left[ 1 + \left( \frac{Q(q, x)}{H} + \operatorname{tg} \beta \right)^2 \right] dx, \quad (8)$$

где  $E$  – модуль упругости, Па.

Длина гибкой нити в деформированном состоянии определяется по формуле [13]:

$$L_1(H, q) = \int_0^{l-u} \sqrt{1 + \left( \frac{Q(q, x)}{H} + \operatorname{tg} \beta \right)^2} dx, \quad (9)$$

где  $u$  – горизонтальное смещение опор, м.

После того как все члены уравнения неразрывности деформаций записаны в явном виде, с помощью численного метода сопряженных градиентов можно решить систему, состоящую из выражений (1) и (5), тем самым найдя значения распора и инерционной нагрузки.

С целью определения несущей способности, как функциональной зависимости от параметров массы и скорости ударяющего тела, воспользуемся законом сохранения энергии. Предположим, что кинетическая энергия движущегося тела в результате взаимодействия с гибкой нитью полностью переходит в работу по ее деформации с учетом кинематических перемещений [4]:

$$\Delta \left( \frac{m \cdot v^2}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot q(m, v) \cdot \int_{x_d - \frac{d}{2}}^{x_d + \frac{d}{2}} w(x) dx, \quad (10)$$

где  $m$  – масса ударяющего тела, кг;  $v$  – скорость ударяющего тела, м/с;  $w(x)$  – функция прогиба, м.

После преобразования получим:

$$q(m, v) = \frac{\Delta \left( \frac{m \cdot v^2}{2} \right)}{\int_{x_d - \frac{d}{2}}^{x_d + \frac{d}{2}} w(x) dx}. \quad (11)$$

В свою очередь прогиб нити является функцией от абсциссы и численно равен [15]:

$$w(x) = y_1(x) - y_0(x), \quad (12)$$

$y_1(x)$  – кривая деформированного состояния, м.

Кривая деформированного состояния нити описывается выражением [15]:

$$y_1(x) = \frac{M(q, x)}{H} + x \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (13)$$

В качестве примера рассмотрим первоначально прямолинейную гибкую нить с опорами расположенными на одном уровне, пролетом  $l=8$  м, сечением  $A=0,00151024$  м<sup>2</sup>, выполненную из материала с модулем упругости  $E=147050$  МПа и пределом прочности  $[\sigma]=1570$  МПа. Опоры представляют собой односторонние связи с учетом выбора зазора  $u=0,2$  м. Контакт с ударяющим телом происходит посередине пролета  $x_d=4$  м при ширине зоны взаимодействия  $d=1$  м.

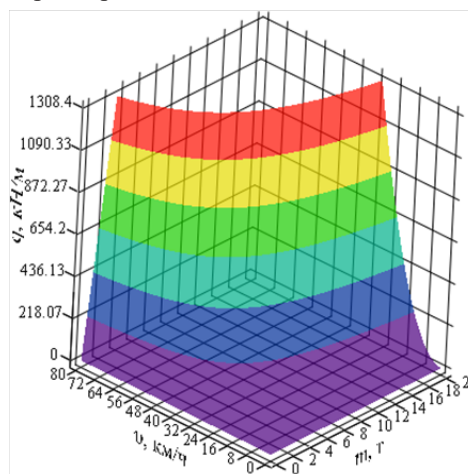


Рисунок 2 - Область несущей способности гибкой нити  $q$ , кН/м, от массы ударяющего тела  $m$ , кг, и его скорости  $v$ , км/ч

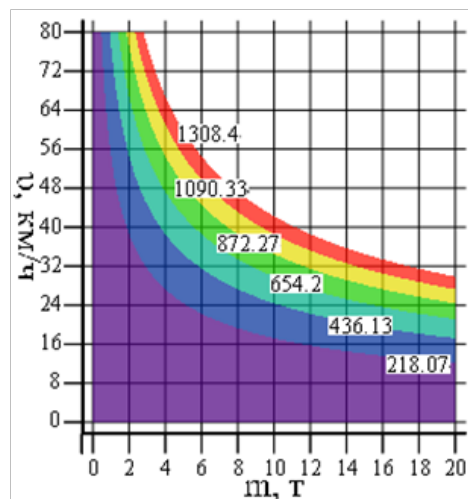


Рисунок 3 - Линии уровня области несущей способности гибкой нити  $q$ , кН/м

С помощью предложенного метода построим поверхность несущей способности в координатах «масса – скорость» ударяющего тела. Знание границ данной поверхности позволит легко определить значение динамической нагрузки, приводящей к наступлению



предельного состояния и как следствие обрыву нити. Предельное состояние наступает в том случае, когда точка с парой значений координат массы и скорости ударяющего тела попадает за границу области несущей способности [16].

**Заключение.** В работе предложен метод по определению области несущей способности гибкой нити при действии поперечной кратковременной динамической нагрузки. В качестве примера, для нити с заданными физическими и геометрическими характеристиками построена поверхность несущей способности. Границами данной поверхности явились: по оси аппликат – условие прочности максимально нагруженного сечения при действии продольного усилия в гибкой нити, по оси абсцисс – предельно допустимое значение массы ударяющего тела, а по оси ординат, соответственно, его скорости. Кривые, образующие границы, позволили получить графическое изображение области несущей способности в параметрах «масса – скорость» ударяющего тела. Внутри полученной области, расположены точки с допустимыми парами указанных параметров. Пара параметров считается допустимой в том случае, когда коэффициент использования прочности сечения меньше или равен единице. При этом значение коэффициента показывает, каков запас прочности максимально нагруженного сечения гибкой нити, расположенного на опоре [17, 18].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. - 4-е изд., перераб. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. – 736 с.
2. Тарасов, Д.А. Конструкция защитного сооружения от удара для железнодорожных переездов / Д.А. Тарасов, В.В. Коновалов, В.Ю. Зайцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1 (18). – С. 111-117.
3. Свидетельство № 2021611428 РФ. Программа определения области несущей способности гибкой нити в параметрах масса-скорость ударяющего тела / Тарасов Д.А., Косяков П.А., Данилов А.Л., Шаповал О.Л. – № 2021610379; заявл. 15.01.2021; опублик. 27.01.2021, Бюл. № 2. – 1 с.
4. Патент № 2694376 РФ. Противотаранные откатные ворота / Кодоров А.А., Тарасов Д.А., Большаков Г.С., Васильев И.В., Шаповал О.Л. – № 2019102145; заявл. 24.12.2018; опублик. 12.07.2019, Бюл. № 20. – 12 с.
5. Патент № 2621774 РФ. Противотаранный барьер / Тарасов Д.А., Косяков П.А., Шалашилин Н.А., Шаповал О.Л. – № 2015145382; заявл. 20.10.2015; опублик. 25.06.2017, Бюл. № 16. – 11 с.
6. Патент № 2668118 РФ. Габион / Васильев И.В., Сигарев В.А., Тарасов Д.А., Шаповал О.Л. – № 2017140743; заявл. 22.11.2017; опублик. 26.09.2018, Бюл. № 27. – 11 с.
7. Тарасов, Д.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния гибких нитей с учетом физической нелинейности / Д.А. Тарасов, Д.Ю. Семенов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 3 (23). – С. 175-185.
8. Говорок, Д.В. Анализ закономерностей перемещений висячих систем на примере свободно висящей нити на двух опорах / Д.В. Говорок, К.А. Фролов // Инновации и инвестиции. -202. - №6. – С. 251-253.
9. Коновалов, В.В. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния гибкой нити при действии поперечного удара / В.В. Коновалов, Д.А. Тарасов, В.Ю. Зайцев, Ю.В. Родионов // В сборнике: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XXI Международной конференции. В 2-х томах. Под редакцией С.А. Никитова, Д.Е. Быкова, С.Ю. Боровика, Ю.Э. Плешивцевой. – 2019. – С. 313-317.
10. Кужахметова, Э.Р. Методы расчета вант и вантовых конструкций / Э.Р. Кужахметова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – №2. – С. 39-48.
11. Кужахметова, Э. Р. Расчет вант с учетом геометрической и физической нелинейности / Э. Р. Кужахметова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2019. – № 55. – С. 252–266.
12. Тарасов, Д.А. Исследование влияния пластических деформаций при моделировании напряженно-деформированного состояния гибкой нити / Д.А. Тарасов, А.В. Липов, А.М. Ирешков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 1 (33). – С. 98–110.
13. V. Kononov, D. Tarasov, V. Zaitsev and Y. Rodionov, "Mathematical Modeling of the Stress-Strain State of a Flexible Thread under the Action of Transverse Impact," 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP), Samara, Russia, 2019, pp. 470-474.
14. Осипенко, М.А. Задача об одностороннем контакте гибкой нерастяжимой нити и твердого тела / М.А. Осипенко // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2015. – №1(33). – С. 82-87.
15. Перетрухин, Д.С. Исследование зависимости провеса каната от усилия его натяжения / Д.С. Перетрухин, А.А. Феденев, Ю.И. Калинин // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. – №1. – С. 170-175.
16. Электронный СПравочник Инженера [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Лира сервис. URL: <https://www.liraland.ru/espri/> (дата обращения 24.03.2021).
17. Справочная информация [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании SCAD soft. URL: [https://scadsoft.com/help/Kristall/ru/index.htm#t=Kristall1049\\_rtf%2FIntroduction.htm](https://scadsoft.com/help/Kristall/ru/index.htm#t=Kristall1049_rtf%2FIntroduction.htm) (дата обращения 24.03.2021).
18. Load-Bearing Capacity Area as an Interactive Analysis Tool in SCAD Office Igor Gavrilenko, Sergij Girenko, Anatoly Perelmutter Michail Perelmutter, Vitalina Yurchenko SCAD Soft, Kyiv, Ukraine [Электронный ресурс] // URL: <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/09/Load-Bearing-Capacity-Area-as-Interactive-Analysis-Tool-in-SCAD-Office.pdf> (дата обращения 24.03.2021).

*Статья поступила в редакцию 26.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 372.881.1

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0008

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ РЕГИОНА

© 2021

**Костин Алексей Владимирович**, начальник

*Управление цифрового развития, информационных технологий и связи Пензенской области  
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Московская, 75, e-mail: kostin@obl.penza.net)*

**Гучкин Илья Игоревич**, инженер

*Государственное бюджетное учреждение «Безопасный регион»  
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Куприна/Сборная, д. 1/2А, e-mail: i.guchkin@br.pnzreg.ru)*

**Аннотация.** Для водоснабжения населенных пунктов Пензенской области используется значительное количество источников воды различного типа: артезианских скважин, каптажей на поверхностных водоемах и др., включенных в коммунальные водопроводные системы. В реестре буровых скважин для подъема воды, зарегистрированных в территориальном фонде геологической информации по Приволжскому Федеральному округу, порядка 1,5 тысяч скважин являются действующими в Пензенской области и включенными в коммунальные водопроводные сети, около 800 из них – в водопроводные системы населенных пунктов с населением менее 20 тысяч человек). Нарушение функционирования источника воды несет прямую угрозу жизнеобеспечению населенного пункта, нормальному функционированию гуманитарных и хозяйственных процессов. Поэтому мониторинг и прогнозирование состояния источников водоснабжения жизненно необходимы для подготовки соответствующих планово-предупредительных мероприятий. Цель публикации – ознакомить читателя с разработанной математической модели прогнозирования состояния источников водоснабжения и автоматизированной информационной системы, обеспечивающей сбор и накопление в базе данных информации о состоянии источников водоснабжения, обработку сведений о каждом источнике и вычисление значений предлагаемого обобщенного показателя, учитывающего оценки надежности, финансовых затрат на восстановление работоспособности и критичности отказа источников водоснабжения. Разработаны модель данных, программный комплекс сбора данных с использованием сети Интернет, математическая модель прогнозирования, средства визуализации для представления статистических данных и результатов прогнозирования на электронной карте.

**Ключевые слова:** система водоснабжения, информационная система мониторинга, прогнозирование, моделирование, информационная система сбора данных.

## AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING AND FORECASTING THE STATE OF WATER SUPPLY SOURCES IN SMALL SETTLEMENTS IN THE REGION

© 2021

**Kostin Aleksey Vladimirovich**, head

*Administration of digital development, information technologies and communications 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, Kuprina str./Sbornaja St., d. 1/2A, e-mail: i.guchkin@br.pnzreg.ru)*

**Abstract.** For water supply of settlements of the Penza region, a significant number of water sources of various types are used: artesian wells, captages on surface reservoirs, etc., included in municipal water supply systems. In the register of drilling wells for lifting water registered in the territorial fund of geological information for the Volga Federal District, about 1.5 thousand wells are operating in the Penza region and are included in the municipal water supply networks, about 800 of them are in the water supply systems of settlements with a population of less than 20 thousand people). Violation of the functioning of the water source poses a direct threat to the life support of the settlement, the normal functioning of humanitarian and economic processes. Therefore, monitoring and forecasting the state of water supply sources is vital for the preparation of appropriate preventive measures. The purpose of the article is to describe the developed mathematical model for predicting the state of water supply sources and an automated information system that provides collection and accumulation in the database of information about the state of water supply sources, processing information about each source and calculating the values of the proposed generalized indicator that takes into account the reliability estimates, financial costs for restoring the operability and criticality of failure of water supply sources. A data model, a software package for data collection using the Internet, a mathematical forecasting model, visualization tools for presenting statistical data and forecasting results on an electronic map have been developed.

**Keywords:** water supply system, data collection, forecasting, modeling, information system for data collection.

**Введение.** В настоящее время, на фоне интенсивной хозяйственной деятельности, роста экологической напряженности и дестабилизации многих геофизических процессов, большинством исследова-

телей отмечается возрастающая острота проблем сохранения, возобновления и рационального использования водных ресурсов [4, 8, 13].

На региональном уровне особенную актуальность данная проблематика приобретает для малых населенных пунктов и сельской местности, где она осложняется рядом факторов, таких как повсеместный износ материально-технической базы, отсутствие практик технически грамотной, рациональной эксплуатации, неупорядоченность отношений собственности и надзорности источников, полноты и достоверности учета и отчетности по их состоянию и эксплуатации. Генезис упомянутых проблем, носит комплексный характер, имеет социально-экономический, технический, экологический, организационный, правовой и другие аспекты.

Для решения части указанных проблем предлагается использовать систематический сбор данных с использованием информационных технологий (ИТ), в частности, с помощью разработанной информационной системы, позволяющей собирать актуальную информацию из населенных пунктов, сохранять её в базе данных и использовать для анализа состояния дел в сфере водоснабжения населенных пунктов. Набор данных по каждому источнику водоснабжения включает 44 элемента (географические координаты, адрес, организация-владелец; даты бурения, ввода в эксплуатацию и ремонт; глубина и дебет скважины; мощность насоса и другие сведения), поэтому систематизация данных (из-за большой трудоемкости) возможна только с использованием ИТ.

Для оценки состояния (работоспособности) источников воды и прогнозирования будущего состояния в заданном периоде времени разработана математическая модель, которая использована для разработки соответствующего программного обеспечения.

По мере расширения информатизации и цифровой трансформации в практике регионального управления, в том числе, в сферах ЖКХ, ГО и ЧС, природопользования, актуальность создания централизованной информационной системы сбора данных об источниках водоснабжения с возможностями прогнозирования их состояния, и эффективность применения такой системы кардинально возрастают.

Авторы всех работ по затронутой тематике отмечают, что исключительную важность в вопросе экономики ресурсов и минимизации ущерба негативных последствий от нарушения нормального режима водоснабжения имеют мероприятия, направленные на предотвращение аварийных ситуаций. Реализации сценария раннего выявления и предотвращения факторов возникновения аварии (также, как и любого отказа, необязательно приводящего к серьезному разрушению системы) означает принципиальный выигрыш по сравнению со сценарием устранения последствий уже произошедшего отказа (и, тем более, полномасштабной аварии) [1, 3, 5, 9, 14, 19].

Большинством авторов отмечается принципиальная сложность прогнозирования отказа каждого

отдельного объекта водозабора (точного времени этого отказа, стечения факторов его вызывающего). Это справедливо и для прочих технических систем, функционирование которых в значительной степени зависит от факторов внешней среды, таких как, человеческий фактор, комплексы факторов экологической, гидрогеологической, природно-климатической природы, а также факторы работы взаимосвязанных технических систем, в частности, систем энергообеспечения [1, 4, 6, 14, 17]. Это же учитывается и находит отражение в нормативно-технической литературе [18]. Даже при условии полноты информации о поведении системы, получение качественного прогноза возникновения аварии на конкретном объекте является крайне проблематичным. Неустойчивость оценок будет практически неустранима из-за сложного взаимного влияния входных факторов друг на друга и сильного воздействия случайностей, огромное количество которых неизбежно останется вне поля внимания в силу природы моделируемых явлений. Поэтому более продуктивным представляется использование обобщенных прогнозных оценок, отражающих поведение некоторой совокупности сходных технических систем, функционирующих в относительно схожих внешних условиях. В данном случае объектом исследования является совокупность объектов водозабора в пределах территориального образования или водопроводной сети, обслуживающей один или несколько расположенных по соседству населенных пунктов. Примеры обобщенного обзора совокупности технических объектов, сходных по типу и назначению с рассматриваемыми в настоящей работе, опубликованы в [2, 7, 9]. Примеры моделирования, где конечной целью выступает создание обобщенных оценок для совокупности технических объектов, объединенных по признаку общности территориального расположения, или нахождения в системной взаимосвязи содержатся в [13, 15, 17].

Методологически большинство авторов придерживаются подхода об экспоненциальном характере нарастания интенсивности отказов в технической системе в фазе старения [1, 3, 5, 8, 16], как функции от времени жизни (или величины наработки) системы; этот тип зависимости положен в основу представляемой модели прогнозирования; прочие факторы определяют скорость изменения интенсивности отказов.

Для сбора информации о состоянии составных частей систем водоснабжения в перспективе следует переходить на сбор данных от различной датчиково-преобразующей аппаратуры по сетям ЭВМ [23 - 25], однако это потребует замены или модернизации существующего насосного оборудования, что сопряжено со значительными финансовыми затратами и решением соответствующих организационных задач.

**Материалы и результаты исследования.** Постановка задачи базируется на следующих положениях:

1) необходимо организовать систематический обмен данными (с использованием сети Интернет) между местными органами и ведомствами, к ком-

петенции которых относится водопользование и водоснабжение, управление ресурсной и материально-технической основой этих задач, формирование централизованной базы данных по источникам водоснабжения населения со сведениями об их состоянии (действующие, резервные и недействующие, нуждающиеся в восстановлении), об основных характеристиках, о принадлежности, о возможностях каждого источника по обеспечению потребности в питьевой воде жителей данной территории;

2) необходимо реализовать систему мониторинга состояний источников водоснабжения, обеспечивающую актуализацию накапливаемых данных и результатов расчетов с целью предупреждения негативных ситуаций с обеспеченностью водой на местах;

3) требуется разработка математической модели, которая для источников разного типа на основе данных о составе и характеристиках оборудования, об изношенности технической базы, о невыполнении требований к эксплуатации основных компонентов системы водозабора и других факторов позволяет формировать оценки состояния с обеспеченностью питьевой водой и сигналы об угрозах нормальному режиму водоснабжения;

4) имеется потребность в создании и внедрении в практику методологической базы для планирования профилактических мероприятий на объектах водоснабжения и резервирования бюджетных ресурсов для финансирования данных мероприятий, которые должны учитывать при определении их очередности и приоритетности, критичность ситуации с обеспеченностью водой в населенном пункте или территориальной единице и ожидаемый риск выхода из строя наиболее важных и дорогостоящих компонентов водозаборных систем.

Структура и функции системы мониторинга состояний источников водоснабжения. Для систематического сбора сведений о состоянии системы водоснабжения в населенных пунктах области предлагается

использовать созданную в ситуационном центре Губернатора Пензенской области в 2020 г. автоматизированную информационную систему (при участии авторов [10, 11]), которая обеспечивает сбор данных по следующему сценарию:

1. Подготовка средствами подсистемы «Конструктор форм» *web*-формы для сбора данных инициаторами запросов (исполнительные органы государственной власти региона, ИОГВ).

2. Формирование и передача по сети Интернет-запросов в органы местного самоуправления (ОМСУ) на получение информации об источниках водоснабжения.

3. Формирование исполнителями запросов (ОМСУ) отчетных данных путем заполнения *web*-форм.

4. Обработка данных, получаемых и накапливаемых в базе данных (БД) системы мониторинга, включая вычисление значений обобщенного (интегрального) показателя для источников водоснабжения.

5. Формирование количественных (в табличной форме) и картографических представлений, характеризующих источники водоснабжения.

6. Анализ полученных отчетных данных и формирование инициаторами запросов предложений по проведению планово-предупредительных мероприятий на источниках водоснабжения, по которым получены значения обобщенного показателя, указывающие на критическое состояние объекта.

Все сведения об отчетных формах, запросах инициаторов, ответах исполнителей формируются с помощью средств сервера приложений и *web*-сервера, и сохраняются в БД системы (рис. 1). На сервере приложений размещено программное обеспечение для выполнения указанных пользовательских функций, включая геоинформационную систему (ГИС) для формирования картографических представлений с условными обозначениями мест источников водоснабжения на территории региона.

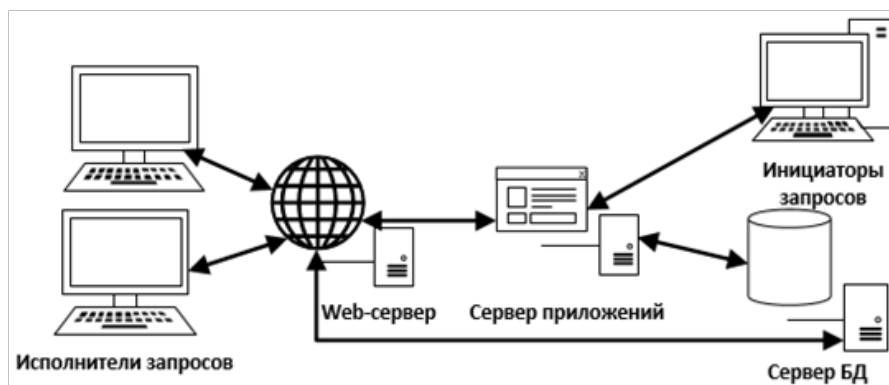


Рисунок 1 – Структура системы мониторинга состояний источников водоснабжения

Система мониторинга состояний источников водоснабжения состоит из следующих подсистем:

1. Подсистема авторизации и аутентификации обеспечивает разграничение прав доступа пользователей.
2. Подсистема сопровождения справочных данных

выполняет функции формирования иерархических справочников с возможностью ввода данных пользователями или загрузки из других источников.

3. Конструктор форм.
4. Подсистема мониторинга процесса подготовки

отчётов позволяет инициатору запросов контролировать процесс поступления отчетных данных от исполнителей.

5. Подсистема уведомлений выполняет формирование и передачу исполнителям сообщений о сроках предоставления отчетов.

6. Подсистема интеграции с геоинформационной системой (ГИС) формирует данные, необходимые для представления на электронной карте региона информации о местах и характеристиках источников водоснабжения.

7. Подсистема хранения данных (реализована в виде реляционной БД).

Модель данных предметной области содержит сущности: «Организации», «Пользователи», «Роли», «Показатели», «Измерения», «Запросы к исполнителям», «Ответы исполнителей», «Формы запросов и ответов», «История изменений», «Справочники».

Программные модули системы мониторинга источников водоснабжения построены на базе PHP-фреймворка *Laravel* 5.6.39 [20], *Vue.JS* [21] с использованием системы управления базами данных *PostgreSQL* 9.6. Выполняемые PHP-скрипты для запросов к серверу БД находятся на Web-сервере (*Nginx*) [22].

Разработка математической модели для формирования оценки состояния источников водоснабжения. Для оценки состояния сооружений и оборудования, установленного на водозаборных узлах, предлагается математическая модель в форме индикативного показателя, числовое значение которого позволяет ранжировать источники водоснабжения с точки зрения риска и критичности отказа источников водоснабжения в прогнозируемом интервале времени:

$$R_j = \prod_{k=1}^3 P_{jk}, \quad (1)$$

где:

$P_{jk}$  – нормированное значение  $k$ -й составляющей показателя  $j$ -го источника водоснабжения;

$$P_{jk} = \frac{S_{jk}^{a_k}}{\max\{S_{jk}^{a_k}\}; k=1,2,\dots,K_{ист}}, \quad (2)$$

$S_{jk}$  – ненормированное значение  $k$ -й составляющей показателя  $j$ -го источника водоснабжения;

$K_{ист}$  – количество источников водоснабжения в рассматриваемой выборке;

$a_k$  – «степенной коэффициент»  $k$ -й составляющей, определяющий степень её важности («вес»); значение  $a_k$  по умолчанию равно 1, при необходимости назначается экспертным путем в пределах от 0 до 1. Полученные значения показателя (1) следует отсортировать по убыванию значений, затем организовать дополнительный анализ состояния источников водоснабжения в соответствии с полученной последовательностью значений для выработки решений по проведению планово-предупредительных мероприятий. Такой подход позволит проводить целенаправленную работу по выявлению источников водоснабжения, для которых следует выполнить планово-предупредительные мероприятия.

Первая составляющая показателя  $R$  учитывает надёжные свойства оборудования источника воды на основе принятого экспоненциального характера зависимости интенсивности отказов, соответствующей «фазе старения» технической системы [5, 8, 16]:

$Q(t) = e^{-\Lambda t}$ , где параметр  $\Lambda + k_0 + \sum_{l=1}^n a_{R(l)} k_{R(l)}$ ; значение  $k_0$  соответствует нормативному темпу старения системы, который наблюдается при соблюдении условий эксплуатации;  $k_{R(l)}$  – «факторы отклонений», которые представляет собой абсолютную разность между фактической точкой в пространстве состояний системы и ближайшей к ней точкой смоделированной «гиперплоскости», соответствующей нормативному темпу старения системы (показаны тонкими линиями, перпендикулярными к линии тренда);  $a_{R(l)}$  – весовой коэффициент  $l$ -го фактора;  $n$  – количество факторов, учитываемых при анализе надёжности оборудования (рис. 2).

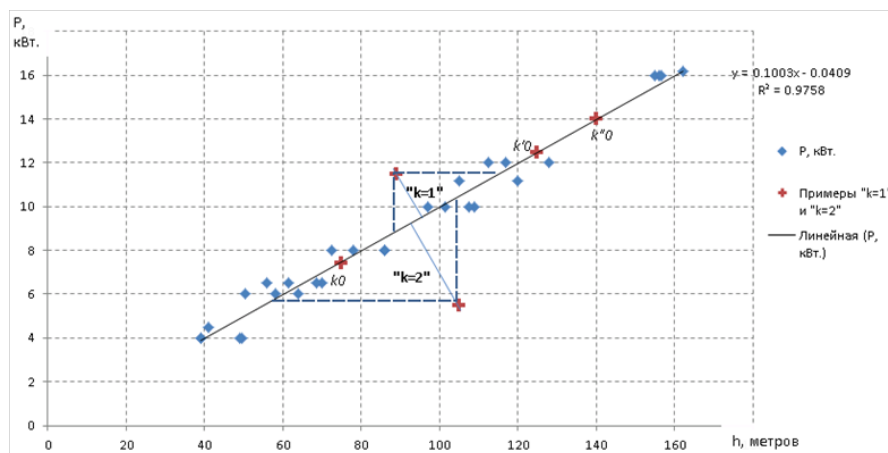


Рисунок 2 – Представление состояний системы водозабора в двумерном пространстве

Гиперплоскость, соответствующая нормативному темпу старения системы, определяется на основе различных линейных комбинаций имеющихся данных

(например, глубина скважины, дебет скважины, мощность насоса, подача насоса, среднемесячное потребление электроэнергии) следующим образом:



- сбор данных по наблюдаемому множеству источников (объектов водозабора) средствами автоматизированной системы мониторинга;
- выбор зависимой переменной ( $Y$ ) и независимых переменных;
- вычисление значений коэффициентов регрессионного уравнения (обычно, первого или второго порядка).

Например, в двумерном пространстве ( $h$  – глубина скважины и  $P$  – мощность установленного на ней насоса) красными крестами обозначены состояния пяти объектов, три из которых ( $k_{\rho}$ ,  $k'_{\rho}$ ,  $k''_{\rho}$ ) соответствуют «нормативному» состоянию, а два ( $k=1$ ,  $k=2$ ) – состояниям, отличающимся от нормативного.

Если можно получить оценки  $Q_j(t)$  для отдельных компонентов объекта водозабора (колонны, насоса, резервуара и др.) с учетом разных стартовых моментов времени (бурение/восстановление колонны скважины, установка/ремонт/замена насосного оборудования и т. д.), то для источника водоснабжения в целом можно использовать модель  $S_{j1}$  в аддитивной форме:

$$S_{j1} = \sum_{i=0}^n e^{\Lambda_j t_i}$$

Вторая составляющая показателя  $R$  учитывает затраты на восстановление работоспособности водозаборной системы (или профилактических мероприятий) в денежном измерении, как оценка величины затрат на восстановление функционирования составной части системы водозабора:  $S_{j2} = \sum_{i=1}^n F_i$ , где  $n$  – количество учитываемых составных частей (элементов) водозабора;  $F_i$  – финансовые затраты, связанные с заменой составной части (или иные затраты, зависящие от отказа элемента системы); размерность – тысяча рублей. При наличии репрезентативной выборки данных об отказах элементов систем водоснабжения для оценки показателей надежности можно использовать известные модели для восстанавливаемых объектов [16] и, в таком случае вместо суммарной величины затрат можно использовать математическое ожидание величины затрат, значение которой оценивать с учетом стоимости составных частей системы и вероятности выхода ее из строя.

Третья составляющая показателя  $R$  учитывает значимость (или критичность) отказа источника для населенного пункта и обслуживаемой им сети в целом, что определяется отношением производительности анализируемого источника (узла) к суммарной производительности водозаборных узлов, включенных в данную водопроводную систему, и нормативным количеством воды, подаваемой данной системой (исходя из количества потребителей и суточного норматива потребления):  $S_{j3} = V_{\text{норм}} K_{\text{польз}} \frac{P_{\text{ист}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ист},i}}$  где  $V_{\text{норм}}$  – суточный норматив потребления (куб. м/чел.\*сут);  $K_{\text{польз}}$  – количество пользователей системы водоснабжения, к которой принадлежит анализируемый источник;  $P_{\text{ист}}$  – производительность (подача) анализируемого источника (м. куб./час);  $P_{\text{ист},i}$  – производительность  $i$ -го источника водоснабжения, включенного в систему водоснабжения населенного пункта.

Значения весовых коэффициентов должны назначаться с учетом приоритетов, исходя из сформулированных целей анализа состояния источников водоснабжения в каждом конкретном случае, например, если в качестве приоритета определена надежность системы водоснабжения, то следует назначить  $a_1=1$ , а значения остальных коэффициентов назначить из условия:  $a_2+a_3=0,5$ . Для выработки практических рекомендаций по назначению величин весовых коэффициентов следует провести анализ влияния их значений на значение обобщенного показателя.

**Заключение.** В результате выполнения первого этапа сбора данных по источникам водоснабжения с помощью автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования получены сведения по 824 источникам водоснабжения в населенных пунктах двадцати двух районов Пензенской области (исключая города областного значения: Пенза, Заречный, Кузнецк), которые обработаны с использованием описанной в настоящей публикации математической модели, что позволило получить предварительную оценку (и прогноз) ситуации с обеспеченностью водой населенных пунктов, с последующим обобщением результатов и их группировкой. В частности, установлено, что состояние пятидесяти двух источников воды, расположенных в 8 административных районах, может быть отнесено к группе максимального риска по критерию выхода из строя систем водоснабжения, и следует провести проверку достоверности полученных из указанных районов сведений, выявления особенностей условий эксплуатации источников водоснабжения и корректировки (при необходимости) полученных сведений и результатов моделирования, затем сформулировать предложения по проведению плано-предупредительных мероприятий.

Разработанная информационная система сбора данных, предлагаемая модель и соответствующие программные средства могут служить инструментом для поддержки процессов анализа, выработки и принятия решений для региональных ИОГВ: технико-экономического обоснования и планирования бюджетного финансирования мероприятий по профилактике, ремонту, реконструкции и восстановлению систем и объектов водоснабжения, а также – возведению новых объектов в местах, где есть потребность в наращивании объема или увеличении надежности процесса водоснабжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения. 2-е изд. - М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
2. Анализ работы механизированного фонда скважин за первое полугодие 2019 года по НКЦДПНГ НГДУ «Уфанефть» и разработка мероприятий по увеличению МРП и СНО ГНО. Презентация. (Приложение №2 к ежемесячной отчетности о работе механизированного фонда скважин, эксплуатируемых УЭЦН (УЭЦП), ШСНУ, УШВН, УЭВН, УЭДН, ОРЭ к положению компании «требования по классификации причин отказов и порядок расследования отказов внутрискважинного оборудования механизированного фонда») [Электронный ресурс] – URL: <https://en.ppt-online.org/622622>.
3. Бондаренко В.Л., Клюкович З.А. Прогнозирование и

методика оценки ущерба при чрезвычайных ситуациях для объектов народного хозяйства: учебное пособие. Ростов-н/Д: ООО «Тера», 2001. – 80 с.

4. Бусалаев И.В. Сложные водохозяйственные системы. Алма-Ата: Наука, 1980. – 231 с.

5. Василевский А.Г., Стефанишин Д.В. Понятия, определения, критерии и подходы при анализе надежности и безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехн. стр.-во. 1990. №3. С. 49-50.

6. Вдовин Ю.И. Водоснабжение населенных пунктов на Севере. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1980. – 135 с.

7. Гаврилюк С. М. Повышение надежности поверхностных источников водоснабжения при устойчивой тенденции посадки русла в местах размещения береговых водозаборных сооружений: автореф. дис. ... канд. тех. наук (05.23.04) / Гаврилюк Сергей Михайлович; Волгоградский гос. архитектурно-строительный ун-т. – Волгоград, 2011. - 20 с.

8. Калинин В. М. Оценка безотказности и прогнозирования долговечности трубопроводов подземной прокладки [Электронный ресурс] – URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3370](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3370) (дата обращения: 02.03.2021).

9. Каталог открытой геоинформации [Электронный ресурс] – URL: [http://opengeodata.ru/информационные\\_ресурсы](http://opengeodata.ru/информационные_ресурсы) (дата обращения: 02.03.2021).

10. Костин А.В. Автоматизация процесса сбора отчетной информации в неоднородных иерархических организационных структурах / Сб. статей V Международной научно-практической конференции «Управление и экономика: исследование и разработка». – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – С. 91 – 93.

11. Костин А.В. Типизация моделей данных для представления отчетной информации / Сб. статей IX Международной научно-практической конференции «Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании». – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – С. 72 – 74.

12. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения / Меренков А.П., Сеннова Е.В. и др. - Новосибирск: Наука, 1992, 407 с.

13. Моделирование водозаборных скважин Thursday, June 14, 2012 [Электронный ресурс] – URL: <https://water.alick.ru/search/label/комплексная%20модель> (дата обращения: 10.03.2021).

14. Мордвинцев М.М. Эксплуатация комплексных гидроузлов: курс лекций для студ. спец. 280302-«Комплексное использование и охрана водных ресурсов». - Новочеркасск: Новочеркасская гос. мелиоративная академия, 2007. - 75 с.

15. Перельман О.М., Пещеренко С.Н., Рабинович А.И., Слепченко С.Д. Методика определения надежности погружного оборудования и опыт ее применения. - ЗАО Новомет-Пермь, г. Пермь 17с. [Электронный ресурс] – URL: [https://www.novometgroup.com/science\\_files/452610572005.pdf](https://www.novometgroup.com/science_files/452610572005.pdf) (дата обращения: 12.03.2021).

16. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 706 с.

17. Пяльченков Д.В. Исследование влияния параметров добывающих скважин на отказы штанговых насосных установок // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) [Электронный ресурс] – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/140TVN216.pdf> (дата обращения: 12.03.2021).

18. СНиП 2.04.02-84\*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения (с Изменением N 1, с Поправкой) Зарегистрирован Росстандартом в качестве СП 31.13330.2010. Официальное издание М.: ФГУП ЦПП, 2006. -128 с.

19. Сумароков С.В. Математическое моделирование систем водоснабжения. - Новосибирск: Наука, 1983. – 164 с.

20. Репозиторий версий бесплатного веб-фреймворка с открытым кодом laravel-5.6. [Электронный ресурс] – URL: <https://github.com/laravel-shift/laravel-5.6> (дата обращения: 12.02.2021).

21. Vue.js – фреймворк для создания веб-приложений клиентского уровня. [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.vuejs.org/v2/guide/> (дата обращения: 12.02.2021).

22. Nginx – веб-сервер и почтовый прокси-сервер, работающих на Unix-подобных операционных системах [Электронный ресурс] – URL: <https://nginx.org/ru/docs/> (дата обращения: 12.02.2021).

23. Hideyuki Tadokoro, Nobuyuki Nakamura, Takuma Nishimura, Kazunori Uemura, Nobuhiko Kikuchi, Masayoshi

Hatayama. Monitoring and Control Systems for the IoT in the Water Supply and Sewerage Utilities Электронный ресурс - URL: [https://www.hitachi.com/rev/archive/2017/r2017\\_07/r7-03/index.html](https://www.hitachi.com/rev/archive/2017/r2017_07/r7-03/index.html) (дата обращения: 14.04.2021).

24. Mario Castro Gama, Emilio Attilio Lanfranchi, Quan Pan, Andreja Jonoski. Water distribution network model building, case study / Procedia Engineering. 13-th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2015, 119 (2015), pp. 573 – 582 Электронный ресурс - URL: <https://reader.elsevier.com/locate/procedia> (дата обращения: 16.04.2021).

25. Industrial Internet of Things: Monitoring is the ideal way to get started with digitalization Электронный ресурс - URL: <https://www.ksb.com/en-ch/magazine/article-overview/smart-monitoring-is-the-easy-way-to-get-started> (дата обращения: 18.04.2021).

*Статья поступила в редакцию 26.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК: 519.711.3

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0009

## ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЯМЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

© 2021

**Карпухин Эдуард Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и физика»

**Дементьева Елена Сергеевна**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Математика и физика»

*Пензенский государственный технологический университет*

*(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, 1А/11, e-mail: edvar1@rambler.ru)*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы математического моделирования прямых магнитоstrictionных эффектов, которые лежат в основе функционирования магнитоstrictionных преобразователей перемещения (МПП). Исследования таких явлений для разных частных случаев проведены в работах многих авторов, но общая методика их моделирования применительно к МПП на настоящее время отсутствует. Поэтому целью статьи является попытка сделать обобщение известных моделей прямых магнитоstrictionных эффектов МПП и на его основе сформировать общую методику их моделирования. Для этого проводится подробный обзор известных математических моделей магнитоstrictionных явлений, учитывающих все возможные факторы влияния, имеющие место в подобных устройствах. Главным образом затрагиваются модели, описывающие явление магнитоstriction с точки зрения термодинамических соотношений плотности свободной энергии и их применение для исследования работы МПП. Отмечаются особенности таких моделей и наиболее важные замечания для их практического использования. Проведенный анализ позволяет предложить обобщенную методику математического моделирования магнитоstrictionных эффектов при работе МПП путем введения объединяющего функционала, принимающего значения конкретных параметров, существенно влияющих на моделирование конкретного устройства, с возможностью расширения его функциональных возможностей.

**Ключевые слова:** магнитоstrictionные преобразователи перемещений, математическое моделирование, математические модели прямых магнитоstrictionных эффектов, особенности моделирования МПП, обобщенная методика моделирования МПП.

## GENERALIZED METHOD OF MATHEMATICAL SIMULATION OF DIRECT MAGNETOSTRICTIONAL PHENOMENA DURING OPERATION OF MAGNETOSTRICTIONAL DISPLACEMENT CONVERTERS

© 2021

**Karpukhin Eduard Vladimirovich**, candidate of technical sciences,  
associate professor sub-department of «Mathematics and physics»

**Dementyeva Elena Sergeevna**, candidate of pedagogical sciences,  
associate professor sub-department of «Mathematics and physics»

*Penza State Technological University*

*(440039 Russia, Penza, pr. Baidukova / ul. Gagarina, 1a /11, e-mail: edvar1@rambler.ru)*

**Abstract.** The paper discusses mathematical modeling of direct magnetostrictive effects, which underlie the functioning of magnetostrictive displacement converters (MFP). Studies of such phenomena for various private cases have been carried out in the works of many authors, but there is currently no general methodology for their modeling in relation to WFP. Therefore, the purpose of the article is to attempt to generalize the known models of direct magnetostrictive effects of WFP and on its basis to form a general methodology for their modeling. To do this, a detailed review of known mathematical models of magnetostrictive phenomena is carried out, taking into account all possible influences that occur in such devices. Models describing the phenomenon of magnetostriction in terms of thermodynamic ratios of free energy density and their use for the study of the work of WFP are mainly affected. The features of such models and the most important comments for their practical use are noted. The analysis allows to propose a generalized method of mathematical modeling of magnetostrictive effects in the operation of WFP by introducing a combining functionality that takes the values of specific parameters that significantly affect the modeling of a particular device, with the possibility of expanding its functional capabilities.

**Keywords:** magnetostrictive displacement transducers, mathematical modeling, mathematical models of direct magnetostrictive effects, WFP modeling features, a generalized WFP modeling technique.

**Введение.** Центральное место при работе магнитоstrictionных преобразователей перемещения (МПП) занимают прямые магнитоstrictionные эффекты. Явление магнитоstriction (изменение размеров ферромагнетиков при воздействии на них магнитным полем) впервые описано в работах Джоуля. Им

был установлен только сам факт такого изменения, а более детальные его описания появились позже в работах других исследователей [1-8]. Среди них можно выделить следующие наиболее значащие эффекты.

1. Эффект Видемана. Частный случай линейной магнитоstriction, заключающийся в закручивании

магнитоэластического стержня, находящегося во внешнем продольном магнитном поле, при пропускании через него импульсов тока. В следствие эффекта Видемана, очевидно, в среде стержня формируются крутильные УЗВ.

2. Эффект Виллари. Обратный эффект линейной магнитоэластичности, состоящий в изменении намагниченности магнитоэластического стержня при изменении его линейных размеров.

3. Эффект Маттеучи. Является обратным к эффекту Виллари и состоит в возникновении намагниченности закрученного магнитоэластического стержня, находящегося в аксиальном магнитном поле.

**Целью** статьи является проведение обзора известных математических моделей магнитоэластических эффектов, их анализ и обобщение, а также предложение на их основе нового общего подхода к моделированию МПП.

**Материалы и результаты исследования.** Физические основы магнитоэластичности можно выразить известным термодинамическим соотношением [9]:

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial H}\right)_\sigma = \left(\frac{\partial M}{\partial \sigma}\right)_H, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – обратимая магнитоэластическая деформация,  $M$  – намагниченность,  $H$  – напряженность магнитного поля,  $\sigma$  – механическое напряжение (индексы  $\sigma, H$  и др. здесь и в дальнейшем означают постоянство указанной величины при вычислении производной).

В работе [1] математическая модель магнитоэластичности приводится на основе плотности свободной энергии в виде:

$$F = U(S, \varepsilon, B) - TS = F(T, \varepsilon, B), \quad (2)$$

где  $F, U$  – свободная и внутренняя энергии,  $S$  – энтропия,  $T$  – температура,  $\varepsilon$  – деформация, представленная в виде тензора,  $B$  – магнитная индукция.

Перепишав (2) для приращений энергий, можно получить систему:

$$\begin{cases} dU = TdS + \sigma d\varepsilon + HdB, \\ dF = -SdT + \sigma d\varepsilon + HdB. \end{cases} \quad (3)$$

Преобразования (3) приводят к следующим равенствам:

$$\sigma = \left(\frac{\partial F}{\partial \varepsilon}\right)_M; H = \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{\partial F}{\partial M}\right)_\varepsilon; \left(\frac{\partial \sigma}{\partial M}\right)_\varepsilon = \mu_0 \left(\frac{\partial H}{\partial \varepsilon}\right)_M = \frac{\partial^2 F}{\partial \varepsilon \partial M} = -h, \quad (4)$$

где  $h$  – магнитоэластическая постоянная, а также предполагается, что процесс проходит изотермически, и выбор одной из величин  $(\varepsilon, M, \sigma, H)$  в качестве константы определяет характер граничных условий и задает параметры рассматриваемой системы [1].

Представив свободную энергию  $F$  в виде степенного ряда, и подставив его в (4), получим:

$$\begin{cases} \sigma' = c^M \varepsilon' + Q M' M^0, \\ H' = \left(\gamma^\varepsilon + \frac{1}{\mu_0} Q \varepsilon^0\right) M' + \frac{1}{\mu_0} Q M^0 \varepsilon', \end{cases} \quad (5)$$

где  $c^M, \gamma^\varepsilon$  – тензоры квазистатических модулей упругости и магнитной восприимчивости соответственно,  $Q$  – коэффициент, определяющий изменение магнитных свойства.

Для одномерного случая (которым чаще всего ограничивается применение магнитоэластических явлений в МПП), выбрав в качестве независимых пе-

ременных  $(\varepsilon, M)$ , система (5) может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \sigma' = E^M \varepsilon' - h M', \\ H' = -\frac{1}{\mu_0} h \varepsilon' + (\kappa^\varepsilon)^{-1} M', \end{cases} \quad (6)$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $\kappa$  – обратная восприимчивость.

Выбирая другие независимые переменные, можно получить еще три аналогичные системы:

для  $(\sigma, H)$ :

$$\begin{cases} \varepsilon' = (E^H)^{-1} \sigma' + d H', \\ M' = \frac{1}{\mu_0} d \sigma' + \kappa^\sigma H', \end{cases} \quad (7)$$

для  $(\varepsilon, H)$ :

$$\begin{cases} \sigma' = E^H \varepsilon' - e H', \\ M' = \frac{1}{\mu_0} e \varepsilon' + \kappa^\varepsilon H', \end{cases} \quad (8)$$

для  $(\sigma, M)$ :

$$\begin{cases} \varepsilon' = (E^M)^{-1} \sigma' + g M', \\ H' = -\frac{1}{\mu_0} g \sigma' + (\kappa^\sigma)^{-1} M'. \end{cases} \quad (9)$$

Параметры систем (6) – (9) связаны с помощью магнитоэластических постоянных выражениями:

$$\begin{aligned} d &= \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial H}\right)_\sigma \approx \mu_0 \left(\frac{\partial M}{\partial \sigma}\right)_H; e = -\left(\frac{\partial \sigma}{\partial H}\right)_\varepsilon \approx \mu_0 \left(\frac{\partial M}{\partial \varepsilon}\right)_H; \\ g &= \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial H}\right)_\sigma \approx -\mu_0 \left(\frac{\partial H}{\partial \sigma}\right)_M; h = -\left(\frac{\partial \sigma}{\partial H}\right)_\varepsilon \approx -\mu_0 \left(\frac{\partial H}{\partial \varepsilon}\right)_M. \end{aligned} \quad (10)$$

Как известно [10], модели, полученные на основе (5) не учитывают все аспекты магнитомеханического преобразования при закручивании МЗП, и для их уточнения можно ввести в рассмотрение процесс перехода магнитной энергии в механическую. Для этого термодинамический потенциал следует рассмотреть в виде:

$$dF = -SdT + \tau d\gamma + HdB + hdb, \quad (11)$$

где  $\tau$  – касательное напряжение,  $\gamma$  – угол сдвига.

В работе [1] из выражения (11) получены следующие равенства:

$$\tau = \left(\frac{\partial F}{\partial \gamma}\right)_{Bb}; H = \left(\frac{\partial F}{\partial B}\right)_{\gamma b}; h = \left(\frac{\partial F}{\partial b}\right)_{\gamma B}; \quad (12)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \tau}{\partial B \partial b}\right)_\gamma = \left(\frac{\partial^2 H}{\partial \gamma \partial b}\right)_B = \left(\frac{\partial^2 h}{\partial \gamma \partial B}\right)_b = \frac{\partial^3 F}{\partial \gamma \partial B \partial b} = -q.$$

Которые в дальнейшем, путем разложения в степенной ряд функции  $F$ , преобразуются в систему уравнений:

$$\begin{cases} \tau = G^{Bb} \gamma - q B b, \\ H = B (\mu_a^{\gamma b})^{-1} - q \gamma b, \\ h = b (\mu_a^{\gamma B})^{-1} - q \gamma B, \end{cases} \quad (13)$$

где  $\mu$  – абсолютная магнитная проницаемость,  $G$  – модуль сдвига,  $q$  – магнитоэластическая постоянная.

Выбирая в качестве независимых различные переменные из набора  $\{\tau, \gamma, H, h, B, b\}$ , на основе (13) можно получить системы, аналогичные системам (6) – (9). Далее, сопоставляя (6) – (9) и (13), вводят коэффициент магнитомеханической связи  $k$ , показывающий эффективность преобразования магнитной энергии  $F_M$  в механическую  $F_e$ , как отношение:



$$k^2 = \frac{F_M}{F_E} = \frac{\kappa^\varepsilon h^2}{\mu_0 E^M} \quad (14)$$

На основе (14) можно установить соотношения между магнитными и механическими величинами в (5) и (13) в виде:

$$\frac{E^H}{E^M} = \frac{\kappa^\varepsilon}{\kappa^\sigma} \approx \frac{E^H}{E^B} \approx \frac{G^H}{G^B} \approx \frac{\mu^\varepsilon}{\mu^\sigma} = 1 - k^2. \quad (15)$$

С помощью равенства (15) возможно выразить любую постоянную величину из уравнений (6) – (9).

Таким образом, модель (1) – (14) подходит для полного описания явления линейной магнитострикции с термодинамической точки зрения в одномерном случае. Для этого необходимо задать модуль Юнга  $E$ , магнитную проницаемость  $\mu$  и коэффициент магнитомеханической связи (14).

Другой подход к математическому описанию явления магнитострикции изложен в работе [5], где отмечается, что изменение размеров ферромагнетика происходит вследствие наличия не только внешних механических напряжений, но внутренних напряжений  $\sigma_r$  и зависит от начальной магнитной восприимчивости  $\chi_{H,r}$ , которая может быть найдена по формуле:

$$\chi_H = \frac{2J_s^2}{9\varepsilon_s \sigma}, \quad (16)$$

где  $J_s$  – намагниченность насыщения,  $\varepsilon_s$  – относительная магнитострикционная деформация при  $J=J_s$ .

При магнитострикционном преобразовании происходит также изменение модуля упругости МЗП на величину  $\Delta E$  (дельта  $E$ -эффект), которое выражается через  $\sigma_r$  и  $\chi_{H,r}$  следующим образом:

$$\frac{E_s - E_0}{E_0} = \frac{2\varepsilon_s E_s}{5\sigma} = \frac{9E_s \varepsilon_s^2 \chi_H}{5J_s}, \quad (17)$$

где  $E_0, E_s$  – модули Юнга без намагниченности и при намагниченности насыщения соответственно.

В работе [5], также на основе этого подхода и модели (16), (17) рассматривается зависимость магнитоупругой чувствительности  $A$ , как функции от магнитной индукции МЗП  $B$ :

$$\Lambda(B) = 2,25 \frac{\varepsilon_s B}{K} \left(1 - \frac{B^2}{B_s^2}\right), \quad (18)$$

где  $B_s$  – индукция насыщения,  $K$  – постоянная анизотропии.

Таким образом, модель (16) – (18) отличается простотой и достаточно точно описывает магнитострикционные явления в изотропных железо-никелевых сплавах.

В контексте рассматриваемой проблемы, помимо исследования самого явления магнитострикции, важно описать вызываемые им процессы формирования УЗВ в среде МЗП, а также сигналы выходного ЭАП, возникающие при их считывании. Рассмотрим известные математические модели этих процессов.

В работе [4] показана связь между параметрами катушки возбуждения входного ЭАП и выходными сигналами ПМПП. Получены следующие квадратурные формулы для механической деформации  $v(t)$  и выходной э.д.с.  $e(t)$ , наводимой на обмотке выходного ЭАП:

$$v(t) = K_1 \int_0^{\tau_1} \phi(t - \tau) d\tau, \quad (19)$$

$$e(t) = K_2 \frac{d}{dt} \int_0^{\tau_2} v(t - \tau) d\tau, \quad (20)$$

где  $K_1, K_2$  – регулирующие коэффициенты,  $\phi$  – магнитный поток через катушку входного ЭАП,  $\tau_1, \tau_2$  – длительности импульсов возбуждения и считывания.

Другая модель основана на системе уравнений [4]:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial F}{\partial x}, \\ H = \frac{1}{\mu_r} B - 4\pi \lambda_M \frac{\partial u}{\partial x}, \\ F = \frac{\partial u}{\partial x} - \lambda_M B, \end{cases} \quad (21)$$

где  $\rho$  – плотность МЗП,  $F$  – приложенная к нему сила,  $x$  – текущая координата,  $u$  – перемещение,  $\mu_r$  – магнитная проницаемость,  $\lambda_M$  – магнитострикционная постоянная.

Решение системы (21) позволяет определить механические напряжения и э.д.с. на выходе ЭАП в виде:

$$\sigma(k, x, t) = \frac{\lambda_M \mu_r}{2E} \int_0^1 H(\varepsilon) e^{jk(\varepsilon - x + vt)} d\varepsilon, \quad (22)$$

$$e(k, t) = -\frac{4\pi \mu_r^2 \lambda_M^2}{2E} H_0 \omega k W_2 \left[ \int_0^1 f(\varepsilon) e^{jk\varepsilon} d\varepsilon \right]^2 e^{jk(l_x - vt)}, \quad (23)$$

где  $V$  – скорость звука,  $k$  – волновое число,  $H(\varepsilon)$  – правило распределения поля в МЗП,  $f(x) = H(x)/H_0$ ,  $H_0$  – напряженность магнитного поля в центре обмотки ЭАП считывания,  $l_x$  – расстояние между обмотками ЭАП,  $W_2$  – число витков в обмотке ЭАП считывания.

С помощью выражений (22), (23) можно вывести формулу коэффициента передачи ПМПП  $G$  [4]:

$$G = \frac{e(k, t)}{u_{\text{вх}}(k, t)} = -j \frac{4\pi \mu_r \lambda_M^2 k W_2}{2E W_1} \frac{\left[ \int_0^1 f(\varepsilon) e^{jk\varepsilon} d\varepsilon \right]^2}{\int_0^1 f^2(\varepsilon) d\varepsilon} e^{jk l_x}, \quad (24)$$

где  $W_1$  – число витков в обмотке ЭАП возбуждения.

Модели (19), (20) и (21)–(24) являются упрощенными и не учитывают влияние многих факторов, оказывающих существенное влияние на работу МПП, например затухание волн, дисперсии, поверхностного и краевого эффектов и др.

В работе [11] модели ПМПП рассматриваются как система уравнений магнитного поля и магнитострикционных явлений в виде:

$$\begin{cases} \sigma + L_n = \rho_M U_n, \\ GE + B = 0, \\ GE - D = I_i, \end{cases} \quad (25)$$

где  $\rho_M$  – плотность МЗП,  $L_n$  – сила Лоренца,  $G$  – оператор Леви-Чивита,  $I_i$  – координаты вектора плотности токов проводимости.

Уравнения (25) могут быть объединены в систему с уравнениями аналогичными (5), вида:

$$\begin{cases} \sigma = C\varepsilon - m'HH', \\ B = mH\varepsilon + \mu H_m, \end{cases} \quad (26)$$

где  $C$  – матрица упругости,  $\varepsilon$  – магнитострикционные постоянные,  $\mu$  – магнитные проницаемости с обобщенным законом Ома:

$$\begin{cases} I = \rho_{3\pi} U + r(E + GU'B), \\ D = \epsilon E, \end{cases} \quad (27)$$

где  $\rho_{3\pi}$  – плотность электрических зарядов,  $r, \epsilon$  – тензоры электрической проводимости и диэлектрической проницаемости соответственно.

Из системы (25) – (27) может быть получено уравнение результирующего магнитного поля ПМПП:

$$H(P, t) = H_p^0(P) + H_p^1(P, t)e^{-j\omega t} + h_p(P, t), \quad (28)$$

Недостатком модели (25) – (28) является необходимость экспериментально определять многие ее параметры.

В работе [12] модель ПМПП представлена в полиномиальном виде:

$$y = b_0 + \sum b_{y_i} x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2, \quad (29)$$

где  $b$  – коэффициенты уравнения регрессии,  $x$  – влияющие факторы.

Коэффициенты  $b$  рассчитываются в соответствии с методом наименьших квадратов по известной формуле:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (30)$$

Модель (29), (30) хорошо описывает многие ПМПП с помощью аппроксимации их экспериментальных данных, но не подходит для исследования новых устройств, для которых такая информация отсутствует.

Такой подход позволил дополнить модель некоторыми рекомендациями, такими как [4]:

1. Условие проверки эффективности диаметра МЗМ. Допустимое напряжение должно удовлетворять условию:

$$P \leq \frac{1}{k_3} \sigma \frac{\pi D^2}{4}, \quad (31)$$

где  $\sigma$  – предельный коэффициент упругости,  $D$  – диаметр МЗП.

2. Учет провисания МЗП. Необходимо наличие начального механического напряжения величиной

$$H_0 = \sqrt{\left(\frac{wL}{8F}\right)^2 + \left(\frac{wL}{2}\right)^2}, \quad (32)$$

где  $w$  – удельный вес МЗП.

3. Контроль исходного механического напряжения (п.2) может осуществляться с помощью равенства:

$$H_2^2 + \left[ \frac{ESW^2 L^2}{24H_1^2} + ES\alpha(\theta_2 - \theta_1) - H_1 \right] H_2 - \frac{ESW^2 L^2}{24} = 0, \quad (33)$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $S$  – площадь поперечного сечения МЗП,  $\alpha$  – температурный коэффициент,  $H_1, H_2$  – начальное и конечное натяжение МЗП.

**Заключение.** Обобщая известные математические модели магнитоэлектрических явлений МПП, можно предложить методику их моделирования, путем построения функционала  $L\{f_i\}$ , где  $f_i$  – математические модели магнитоэлектрических явлений рассмотренных видов, учитывающие ряд необходимых параметров конкретной задачи. Подобный подход, при проведении исследований был применен, например, в работах [13-20].

Значениями функционала  $L$  являются параметры магнитоэлектрического эффекта МПП, которые могут быть использованы для исследования как известных, так и новых магнитоэлектрических устройств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кадров А.В. Магнитоупругие явления в ферромагнитных материалах при деформациях кручения: Дис...канд. техн. наук. – Екатеринбург, 1995. – 146 с.
2. Надеев М.А. Моделирование и оценка характеристик и показателей магнитоэлектрических преобразователей: Дис...канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 187 с.
3. Петрищев О.Н. Волновые поля в ультразвуковых магнитоэлектрических трактах: Дис...канд. физ.-мат. наук. – Киев, 1984. – 189 с.
4. Ясовеев В.Х. Магнитоэлектрические волноводные преобразователи параметров движения: Дис...докт. техн. наук. – Уфа, 2001. – 425 с.
5. Бозорт Р. Ферромагнетизм. – М.: ИЛ, 1956. – 740 с.
6. Карпукhin Э.В. Математическое моделирование магнитных полей накладных магнитоэлектрических уровней: Монография/ Э.В. Карпукhin, С.Б. Демин. – Пенза: ПензГТУ, 2014. – 116 с.
7. Демин С.Б. Магнитоэлектрические системы для автоматизации технологического оборудования: Монография. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2002. – 182 с.
8. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитоэлектрических преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис...канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
9. Карпукhin Э.В. Математическое моделирование магнитных полей накладных магнитоэлектрических уровней: Дис...канд. техн. наук. – Пенза, 2012. – 157 с.
10. Малюгин Д. В. Магнитоупругое взаимодействие в магнитоэлектрических металлах при деформациях сдвига: Автореферат дис...канд. физ.-мат. наук. – Ижевск, 1992 – 19 с.
11. Петрищев О.Н., Шпиль А.П. Ультразвуковые магнитоэлектрические волноводные системы. – Киев: Изд-во при Киевском университете, 1989. – 132 с.
12. Надеев А.И. Интеллектуальные магнитоэлектрические преобразователи движения сверхбыстрого диапазона: Дис...докт. техн. наук. – Астрахань, 2000. – 365 с.
13. Баженов Ю.М. Сверхтяжелый бетон для защиты от радиации/ Ю.М. Баженов, А.П. Прошин, А.И. Еремкин, Е.В. Королев, А.Н. Бормотов// Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 6-9.
14. Бормотов А.Н. Имитационное моделирование деформации и метод прогнозирования стойкости композиционных материалов\*/ А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, Е.В. Королев// Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 113-118.
15. Прошин А.П. Методологические принципы выбора оптимальных наполнителей композиционных материалов/ А.П. Прошин, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов, А.Н. Бормотов// Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 10 (550). – С. 15-20.
16. Бормотов А.Н. Методика представления композиционного материала как объекта исследования и моделирования/ А.Н. Бормотов, Е.А. Колобова, Ю.В. Конопацкий// Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3. – С. 44-51.
17. Королев Е.В. Глетглицириновые строительные материалы для защиты от радиации/ Е.В. Королев, А.Н. Бормотов, А.С. Иноземцев, С.С. Иноземцев// Строительные материалы. – 2009. – № 12. – С. 69-71.
18. Бормотов А.Н. Методологические принципы математического моделирования и синтеза композиционных материалов из отходов нефтепереработки/ А.Н. Бормотов, М.В. Кузнецова, Е.А. Колобова// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 2 (38). – С. 85-94.
19. Коновалова И.И. Алгоритм настройки адаптивных регуляторов/ И.И. Коновалова, С.В. Селезнёва, А.Н. Коновалов, А.Н. Бормотов// В мире научных открытий. – 2013. – № 6 (42). – С. 22-33.
20. Бормотов А.Н. Система управления качеством при математическом моделировании и многокритериальном синтезе наномодифицированных композитов специального назначения/ А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, М.В. Кузнецова// Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2014. – Т. 64. № 2. – С. 110-118.

Статья поступила в редакцию 27.04.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 533.6.011.6

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0010

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕДУЦИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

© 2021

**Цветова Екатерина Владимировна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Тепловая и топливная энергетика»

**Ковальнов Владислав Николаевич**, доктор технических наук,  
заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика»

**Хахалев Юрий Андреевич**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Тепловая и топливная энергетика».

*Ульяновский государственный технический университет*

(432027, Россия, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, e-mails: katf0k@mail.ru, kvn@ulstu.ru, ulstu-td-ua@mail.ru)

**Аннотация.** Эффективным способом решения проблемы ресурсо- и энергосбережения в системе транспортирования и распределения природного газа является безогневой подогрев газа посредством устройства газодинамической температурной стратификации. В работе предложена методика моделирования процесса газодинамической температурной стратификации, позволяющая учитывать воздействие дисперсной фазы на обменные процессы, протекающие в пограничном слое газовых потоков. Моделирование дает возможность выявления и отработки методов управления пограничным слоем газовых потоков, обосновать конструктивные решения для интенсификации обменных процессов в пограничном слое регулятора давления природного газа с безогневым подогревом. Приведены результаты компьютерного исследования процесса газодинамической температурной стратификации в устройстве безмашинного энергоразделения (трубе Леонтьева) для трех рабочих тел. Установлено, что несмотря на то, что природный газ (метан) является не самым высокопотенциальным носителем, имеется возможность существенного повышения эффективности температурной стратификации дисперсного рабочего тела путем модификации потока нано-структурами.

**Ключевые слова:** газодинамическая температурная стратификация, дисперсный поток, безогневой подогрев газа, интенсификация теплоотдачи.

## MODELING AND RESEARCH OF THE PROCESS OF GAS DYNAMIC TEMPERATURE STRATIFICATION TO INCREASE THE EFFICIENCY OF REDUCING NATURAL GAS

© 2021

**Tsvetova Ekaterina Vladimirovna**, candidate of Technical Sciences,  
associate Professor of the Department of "Thermal and Fuel Energy"

**Kovalnogov Vladislav Nikolaevich**, doctor of Technical Sciences,  
head of the Department "Thermal and Fuel Energy"

**Khakhalev Yuriy Andreyevich**, candidate of Technical Sciences,  
associate Professor of the Department of "Thermal and Fuel Energy"

*Ulyanovsk State Technical University*

(432027, Russia, Ulyanovsk, street Severny Venets, 32, e-mails: katf0k@mail.ru, kvn@ulstu.ru, ulstu-td-ua@mail.ru)

**Abstract.** A solution to the problem of resource and energy saving in the natural gas transport and distribution system is proposed - fireless gas heating by means of a gas-dynamic temperature stratification device. The paper considers the modeling of the process of gas-dynamic temperature stratification, which makes it possible to take into account the effect of the dispersed phase on the exchange processes occurring in the boundary layer of gas flows. An urgent direction of research is the search and development of methods for controlling the boundary layer of gas flows, which make it possible to intensify exchange processes in the boundary layer of a natural gas pressure regulator with fireless heating. The results of a computational study of the efficiency of gas-dynamic temperature stratification in a machineless energy separation device (Leontief tube) for three working bodies are presented. According to the results of the study, it was revealed that natural gas (methane) is not the most high-potential carrier, but there is a technological problem to increase the efficiency of temperature stratification of methane. The increase in the efficiency of gas-dynamic temperature stratification of natural gas was carried out by modifying the flow with nano-structures. In this work, for the first time, the possibility of a significant increase in the efficiency of temperature stratification of a dispersed working fluid, in which methane is the transporting medium, has been established.

**Keywords:** gas-dynamic temperature stratification, disperse flow, fireless gas heating, heat transfer enhancement.

**Введение.** Газотранспортные предприятия нуждаются в частичном расходовании природного газа на собственные нужды. На газораспределительных станциях (ГРС) при дросселировании газа происходит

снижение его температуры, что приводит к обмерзанию газопроводов и образованию газовых гидратов [1].

Предотвращают гидратообразование на ГРС пу-

тем «огневого» подогрева газа (сжигают около 1% от объема транспортируемого газа) и ввода в газопровод ингибиторов гидратообразования (метанола). Данные методы борьбы с гидратообразованием сопряжены с материальными вложениями на вводимые ингибиторы гидратообразования и с затратами газа на «огневой» подогрев.

В настоящее время актуальной задачей является поиск новых энергосберегающих способов подогрева газа при редуцировании.

Для повышения температуры газа и предотвращения обмерзания газового оборудования предлагается внедрение устройств газодинамической температурной стратификации (безмашинного энергоразделения) в узел редуцирования ГРС. Природа энергоразделения потока зависит от вызывающих его причин, среди которых движущиеся потоки с завихрениями, ударные волны и пульсации давления [2]. Данные эффекты легли в основу работы устройств для энергоразделения газов. На ГРС могут найти свое практическое приложение такие виды энергоразделения как:

- 1) температурная стратификация в сверхзвуковом потоке [3,4];
- 2) вихревой эффект Ранка – Хилша [5 – 7];
- 3) эффект Гартмана – Шпренгера [8 – 11].

В данной работе исследуется способ температурной стратификации для энергоразделения.

Газодинамический метод энергоразделения, реализованный в трубе температурной стратификации сверхзвукового потока, предложен академиком Леонтьевым А.И. [12, 13]. Температурное разделение потока обусловлено различием температур в трактах трубы Леонтьева (дозвуковом и сверхзвуковом). Пере-

даваемый тепловой поток определяет эффективность стратификации. На рисунке 1 изображена схема регулятора давления природного газа на основе газодинамической температурной стратификации, принцип его действия известен из литературы [14].

Для предварительного подогрева газа используется безмашинное устройство энергоразделения – сверхзвуковая труба температурной стратификации. Основным элементом регулятора, схема которого представлена на рисунке 1, является сопло Лавала, проходя через которое газ разгоняется до сверхзвуковой скорости, при этом происходит его нагрев. Далее газ захлаживается в межтрубном пространстве.

Схема процесса газодинамической температурной стратификации (один элемент кожухотрубного теплообменника 16 на рисунке 1 – сверхзвуковая труба температурной стратификации) показана на рисунке 2. За счет отличия адиабатной температуры  $T_{r2}$  стенки 3 со стороны сверхзвукового тракта 5 от температуры торможения  $T^*$  и адиабатной температуры  $T_{r1}$  стенки со стороны дозвукового тракта 2 происходит энергоразделение потока – теплообмен в направлении от дозвукового к сверхзвуковому потоку через разделительную стенку. Рассмотрим особенности моделирования процесса газодинамической температурной стратификации с учетом воздействия дисперсной фазы на обменные процессы, протекающие в пограничном слое газовых потоков.

**Целью** исследования является поиск способов управления пограничным слоем газовых потоков, способствующих интенсификации обменных процессов в пограничном слое регулятора давления природного газа с безогневым подогревом.

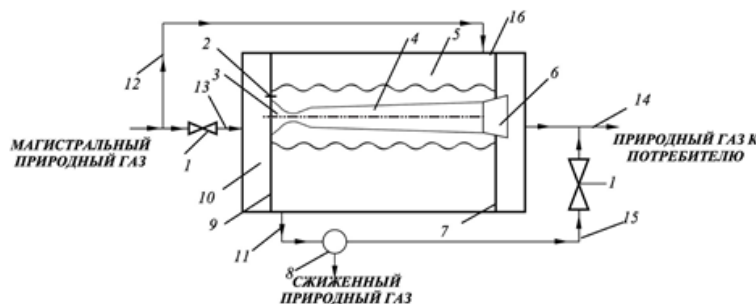


Рисунок 1 – Схема регулятора давления природного газа с безогневым подогревом и получением сжиженного природного газа на базе устройства газодинамической температурной стратификации: 1 – узел регулирования расхода газа; 2 – отсекающий клапан; 3 – сверхзвуковое сопло; 4 – пучок сверхзвуковых каналов; 5 – межтрубное пространство; 6 – диффузор; 7,9 – трубные доски; 8 – устройство утилизации холода; 10 – приемная камера; 11 – линия захлаживания газа; 12 – линия газа из магистрального газопровода; 13 – линия поступления газа в приемную камеру; 14 – линия потребителей газа; 15 – линия газа после устройства утилизации холода; 16 – кожухотрубный теплообменник.

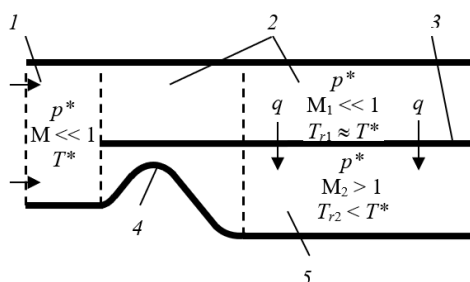


Рисунок 2 – Схема температурной стратификации: 1 – входная камера; 2 – тракт дозвукового течения; 3 – разделительная стенка; 4 – сверхзвуковое сопло; 5 – тракт сверхзвукового течения



**Материалы и результаты исследования.** *Математическая модель и численное исследование.* Плотность теплового потока, характеризующая эффективность температурной стратификации:

$$q = k(T_{r1} - T_{r2}), \quad (1)$$

где коэффициент теплопередачи  $k$  равен

$$k = 1 / (1/\alpha_1 + 1/\alpha_2). \quad (2)$$

Из выражений (1), (2) следует, что для повышения теплового потока необходимо увеличивать коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Анализируя литературу по тематике исследования, можно заключить, что основными методами повышения эффективности температурной стратификации являются применение рабочих тел с малыми числами Прандтля ( $Pr$ ) [15, 16] и возмущение сверхзвукового пограничного слоя посредством дуды газа [17]. Заметим, что газовые смеси с малыми числами Прандтля являются дорогостоящими и по этой причине не находят широкого применения в технике стратификации. Поэтому доступными рабочими телами в исследова-

тельской практике остаются бюджетные газовые смеси (воздух, водородо-аргоновые смеси и т.д.) с числами  $Pr = 0,45 \dots 0,75$ . Таким образом, значительного повышения эффективности газодинамической температурной стратификации таких рабочих тел добиться не удастся, поэтому возникает стратегическая задача поиска активных методов воздействия на сверхзвуковой пограничный слой для уменьшения коэффициента восстановления температуры.

В целях повышения эффективности стратификации в работах [18 – 21] предложено использовать дисперсное рабочее тело, движущееся с целенаправленной закруткой потока в проточной части устройства температурной стратификации [19]. Наблюдается повышение показателей энергоразделения дисперсного рабочего тела за счет инерционного выпадения частиц на стенку в пограничном слое. Коэффициенты теплоотдачи увеличиваются, но одновременно происходит снижение коэффициента восстановления температуры в сверхзвуковом потоке.

Учитывая зависимости для газодинамических функций параметров состояния, плотность теплового потока определяется:

$$\bar{q} = \varepsilon \cdot \frac{(1-r_1)(1+\frac{\gamma-1}{2}M_1^2)^{-1} + (r_1-r_2) - (1-r_2)(1+\frac{\gamma-1}{2}M_2^2)^{-1}}{1+\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \left[ M_1^2 Pr \frac{\gamma R_0 (\gamma+1)}{\gamma_0 R (\gamma+1)} \right]^{0,4} \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{0,8} \left( \frac{\gamma_0+1}{2} \right)^{0,8} \left[ \left( \frac{2}{\gamma+1} \right) \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2 \right) \right]^{0,4(1+\gamma)} \quad (4)$$

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \left( \frac{\rho_1 u_1}{\rho_2 u_2} \right)^{0,8} \frac{(1+r_2 \frac{\gamma-1}{2} M_2^2)^{-0,11}}{(1+5 \cdot 10^9 Re_{wx2} G^2)^{0,2}} = \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^{0,8} \frac{\left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2 \right)^{0,4(1+\gamma)}}{\left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M_2^2 \right)^{0,4(1+\gamma)}} \frac{(1+r_2 \frac{\gamma-1}{2} M_2^2)^{-0,11}}{(1+5 \cdot 10^9 Re_{wx2} G^2)^{0,2}} \quad (5)$$

где:  $\bar{q}$  – относительный тепловой поток;  
 $r$  – коэффициент восстановления температуры;  
 $\gamma$  – показатель адиабаты;  
 $M$  – число Маха;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$R$  – газовая постоянная, Дж/(кг·К);

$\lambda$  – теплопроводность рабочего тела, Вт/(м·К);

$Pr$  – число Прандтля;

$\rho$  – плотность рабочего тела, кг/м<sup>3</sup>;

$u$  – скорость, м/с;

$Re$  – число Рейнольдса;

$G$  – обобщенная переменная, отвечающая за влияние дисперсных частиц;

Значения подстрочных индексов в формулах:

0 – величины во входной камере или масштабные значения;

1 – величины дозвукового тракта;

2 – величины сверхзвукового тракта;

$w$  – величины при определяющей температуре стенки;

$x$  – величины, имеющие в качестве определяющего размера продольную координату.

Течение дисперсного потока лишено инерционного выпадения частиц в пограничном слое дозвукового тракта устройства стратификации, в связи с этим коэффициент восстановления температуры может быть определен как для однородного газового потока:  $r_1 = \sqrt[3]{Pr}$ . Коэффициент восстановления потока,

движущегося в сверхзвуковом тракте устройства, где организовано инерционное выпадение дисперсных частиц в пограничном слое, можно найти из выражения [22]:

$$r_2 = \frac{\sqrt[3]{Pr}}{1+28,67 G^{0,3}} \quad (6)$$

Здесь  $G$  – обобщенная переменная, отвечающая за влияние дисперсных частиц [22].

Анализируя выражения (3) – (6), можно заключить, что на эффективность температурной стратификации оказывают влияние множество факторов:  $\gamma$ ,  $Pr$ ;  $M_1$  и  $M_2$ ;  $G$ ;  $Re_{wx2}$ ; относительный коэффициент теплопроводности рабочего тела  $\lambda/\lambda_0$ ; относительное значение газовой постоянной  $R/R_0$ . Из них четыре величины ( $\gamma$ ,  $Pr$ ;  $\lambda/\lambda_0$ ,  $R/R_0$ ) являются связанными и определяют вид рабочего тела.

Исследование выполнялось в несколько этапов. На первом этапе исследовался потенциал газодинамической температурной стратификации для однородного природного газа по сравнению с другими видами рабочего тела. Расчеты выполнены при фиксированных значениях параметров:  $\gamma = 1,4$ ;  $\lambda/\lambda_0 = 1$ ;  $R/R_0 = 1$ . Результаты исследования показаны на рисунках 3, 4.

Характер воздействия вида рабочего тела и числа Маха  $M_2$  сверхзвукового тракта на плотность теплового потока иллюстрируется графиками рисунке 3, полученными при  $M_1 = 0,5$ .

Проанализированы рабочие тела с тремя видами

широко используемых в технике газов (воздух, гелий, метан), значения определяющих критериев для них приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исследуемые рабочие тела и их характеристики

Газ	$\gamma$	$Pr$	$\lambda/\lambda_0$	$R/R_0$
Воздух	1,40	0,702	1,0	1,0
Гелий	1,66	0,670	5,77	7,24
Метан	1,32	0,786	1,2	1,81

В связи с тем, что природный газ представляет собой смесь газообразных углеводородов, главным составляющим компонентом которой является метан и примеси других алканов, в качестве рабочего тела, используемого в регуляторе давления природного газа с безогневым подогревом принят метан.

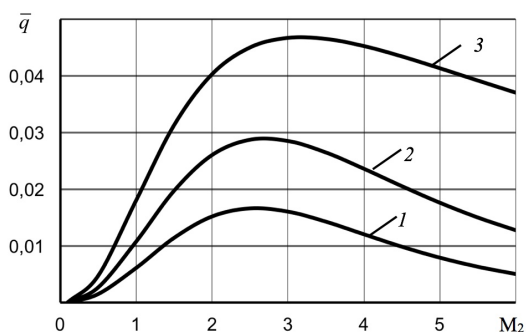


Рисунок 3 – Влияние вида рабочего тела и числа Маха в сверхзвуковом тракте на эффективность температурной стратификации: 1 – метан; 2 – воздух; 3 – гелий

На рисунке 3 наглядно представлено, что плотность теплового потока  $\bar{q}$  зависит от числа Маха  $M_2$  по кривой с максимумом для всех проанализированных рабочих тел. Плотность теплового потока достигает своего максимума при  $M_2 \approx 2,5$ . Максимальная эффективность температурной стратификации зафиксирована при использовании в качестве рабочего тела гелия.

Результаты исследования показали, что природный газ (метан) является не самым высокопотенциальным носителем, однако может быть поставлена и решена технологическая задача по повышению эффективности температурной стратификации природного газа. Оценка эффективности температурной стратификации метана при модификации потока наноструктурами проводилась на втором этапе исследования.

Влияние на температурную стратификацию дисперсного потока (нано-структур, характеризуемых критерием  $G$ ), отображено графиками (рис. 4), полученными ( $M_1=0,5$ ,  $Re_{\text{мх2}}=5 \cdot 10^5$ ) для дисперсного потока метана. Как следует из графиков, дисперсность рабочего тела позволяет значительно увеличить плотность теплового потока  $\bar{q}$  по сравнению с однородным потоком. Если сравнивать полученные результаты с известными данными [18 – 21], то обнаруживается, что добавки в природный газ (дисперсный поток) в разы интенсифицируют процесс газодинамической температурной стратификации природного газа.

Как видно из рисунка 4, добавки в природный газ (дисперсный поток) в разы интенсифицируют эффективность газодинамической температурной стратификации природного газа.



Рисунок 4 – Влияние факторов  $M_2$ ,  $G$  на температурную стратификацию в дисперсном потоке: 1 –  $G = 0$  (однородный поток); 2 –  $5 \cdot 10^9$ ; 3 –  $5 \cdot 10^8$ ; 4 –  $5 \cdot 10^7$ ; 5 –  $5 \cdot 10^6$

**Заключение.** Таким образом, как показало моделирование по предложенной методике, использование дисперсного рабочего тела позволяет значительно повысить эффективность газодинамической температурной стратификации (увеличения передаваемого теплового потока), что имеет большую практическую значимость при транспортировке природного газа с распределенными в нем частицами конденсированной фазы – безогневым подогревом газа посредством газодинамической температурной стратификации газового потока. Моделирование дает основания для совершенствования процессов управления пограничным слоем газовых потоков (дисперсное рабочее тело), а также выявить конструктивные решения для интенсификации обменных процессов в пограничном слое регулятора давления природного газа с безогневым подогревом.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект НШ-2493.2020.8).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Катаев, К.А. Гидратообразование в трубопроводах природного газа/ К.А. Катаев // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2011. – № 1 (2).
- Гурин С.В. Разработка технологии квазизотермического редуцирования давления для объектов системы транспортировки и распределения природного газа: дисс. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2008.
- Здитовец, А.Г. Экспериментальное исследование безмашинного энергоразделения воздушных потоков в трубе Леонтьева/ А.Г. Здитовец, Ю.А. Виноградов, М.М.Стронгин // Тепловые процессы в технике. № 9. – 2015. – С. 397–404.
- Попович С.С. Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2016.
- Белоусов А.М. Вихревая труба Ранка – Хилша как перспективное устройство получения низких температур / А.М. Белоусов, И.Х. Исрафилов, С.И. Харчук // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». Изд-во С.-Пб. НИУ ИТМО. – 2014. – № 2. – С.36–44.
- Регулятор давления газа РДУ-Т – новый способ борьбы с гидратообразованием [Электронный ресурс]. Режим

доступа URL: <http://www.staroruspribor.ru/articles/view/282.htm> (дата обращения 09.05.2021)

7. Хаит А.В. Исследование эффекта энергоразделения с целью улучшения характеристик вихревой трубы: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2012. – 199 с.

8. Лепендин Л.Ф. Акустика. – М.: «Высшая школа», 1978. – 448 с.

9. Ли Чжун Мин Исследование термоакустического нагрева газа в газоструйных генераторах Гартмана: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004.

10. Елисеев Ю.Б., Черкез А.Я. Об эффекте повышения температуры торможения при обтекании газом глубоких полостей. // Механика жидкости и газа. – 1971. – № 3. – С. 8–18.

11. Парфенов Д.В. Предупреждение нагрева элементов крановых узлов при заполнении газом участков магистральных газопроводов: дис. ... канд. техн. наук. – Ухта, 2018.

12. Леонтьев А.И. Температурная стратификация сверхзвукового газового потока // Доклады академии наук. Энергетика, 1997. – Т. 354. – № 4. – С. 475–477.

13. Леонтьев А.И. Способ температурной стратификации газа и устройство для его осуществления (Труба Леонтьева). Патент на изобретение № 2106581. Приоритет 23.05.1996. Публикация 10.03.1998.

14. Научные основы технологий XXI века / под ред. Леонтьева А.И., Пилюгина Н.Н., Полежаева Ю.В., Поляева В.М. – М.: «Энергомаш». – 2000. – 135 с.

15. Виноградов Ю.А. Измерение равновесно температуры стенки сверх- звукового сопла при течении смеси газов с низкими значениями числа Прандтля / Ю. А. Виноградов, И. К. Ермолаев, А. Г. Здитовец, А. И. Леонтьев // Известия академии наук. Энергетика. – 2005. – № 4. – С. 128–133.

16. Леонтьев, А. И. Коэффициент восстановления в сверхзвуковом потоке газа с малым числом Прандтля / А. И. Леонтьев, В. Г. Лущик, А. Е. Якубенко // ТВТ. – Т. 44. – № 2. – 2006. – С. 238 – 245.

17. Бурцев, С.А. Температурная стратификация в сверхзвуковом потоке газа / С. А. Бурцев, А. И. Леонтьев // Известия академии наук. Энергетика. – 2000. – № 5. – С. 101–113.

18. Ковальногов В.Н., Цветова Е.В., Федоров Р.В., Петров А.В. Математическое моделирование и исследование эффективности газодинамической температурной стратификации в дисперсном потоке // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 1 (31) 2013. – С. 40 – 46.

19. Ковальногов Н.Н., Магазинник Л.М., Федоров Р.В. Сверхзвуковая труба температурной стратификации. Патент на изобретение № 2334178. Приоритет 09.03.2007. Публикация 20.09.2008.

20. Цветова Е.В., Ковальногов В.Н., Федоров Р.В. Исследование эффективности комплексных методов интенсификации теплоотдачи при газодинамической температурной стратификации // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2020. – № 2-3 (90-91). – С. 24-28.

21. E. V. Tsvetova, V.N. Kovalnogov, R. V. Fedorov, "Research of Integrated Passive Methods of Heat Dissipation Intensification to Improve the Efficiency of Gas-Dynamic Temperature Stratification", Journal of Numerical Analysis, Industrial and Applied Mathematics 15(1-2): 13-16 (2020).

22. Ковальногов Н.Н. Пограничный слой в потоках с интенсивными воздействиями. Ульяновск: Изд-во Ул-ГТУ. 1996. 246 с.

*Статья поступила в редакцию 20.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 004.8

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0011

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И УЧЕТА МУСОРА НА ТЕРРИТОРИИ МУНИЦИПАЛИТЕТА

© 2021

**Казakov Олег Дмитриевич**, кандидат экономических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Информационные технологии»

**Азаренко Наталья Юрьевна**, магистрант

*Брянский государственный инженерно-технологический университет*

*(241050, Россия, Брянск, проспект Ленина 26а, e-mails: it.kazakov@yandex.ru, salovanat@mail.ru)*

**Аннотация.** Представленная статья содержит исследование по разработке интеллектуальной системы обнаружения и учета мусора на территории муниципалитета. Цель представленной статьи состоит в программной реализации и развертывании нейронной сети для классификации наличия мусора на территории города Брянска, а также программной реализации и развертывании нейронной сети для детектирования мусора в разрезе географических координат. Для проведения исследования подготовлен набор данных для обучения нейронной сети классификации наличия мусора, состоящий из набора изображений, полученных с помощью квадрокоптера *DJI Mini 2*, а также скаченных с бесплатных фотостоков. С использованием метода *Data Augmentation* набор данных расширен до 1872 изображений. Применяв метод *Transfer Learning* к сверточной нейронной сети *ResNet18*, обучили нейронную сеть для классификации наличия мусора на территории города Брянска. Задача детектирования мусора в разрезе географических координат реализована с помощью метода *Transfer Learning* к нейронной сети *YOLOV5*. В статье представлена реализованная клиентская часть *web*-приложения «Детектирование мусора на территории муниципалитета» с помощью фреймворка *Flask* на языке программирования *Python*. Практическая значимость исследования состоит в том, что интеллектуальная система обнаружения и учета мусора на территории муниципалитета позволит упорядочить работу с твердыми коммунальными отходами, а также контролировать своевременность вывоза мусора, повысить качество уборки территории, контролировать несанкционированные свалки в самом начале их образования, снизить экологическую нагрузку и улучшить экологическую культуру граждан. Реализация интеллектуальной системы обнаружения и учета мусора на территории муниципалитетов в Брянской области одно из направлений проекта *Smart City*.

**Ключевые слова:** *Transfer Learning, Smart City*, интеллектуальная система обнаружения и учета мусора, изображения с квадрокоптера *DJI Mini 2*.

## INTELLIGENT SYSTEM FOR DETECTION AND ACCOUNTING OF GARBAGE IN THE TERRITORY OF THE MUNICIPALITY

© 2021

**Kazakov Oleg Dmitrievich**, candidate of Economic Sciences, senior Lecturer,  
head of the Department of Information Technology

**Azarenko Natalia Yurievna**, master's student

*Bryansk State University of Engineering and Technology*

*(241050, Russia, Bryansk, Lenin Avenue, 26a, e-mails: it.kazakov@yandex.ru, salovanat@mail.ru)*

**Abstract.** The presented article contains a study on the development of an intelligent system for detecting and accounting for garbage in the territory of the municipality. The purpose of the presented article is to programmatically implement and deploy a neural network for classifying the presence of garbage in the city of Bryansk, as well as software implementation and deployment of a neural network for detecting garbage in the context of geographic coordinates. For the study, a dataset was prepared for training a neural network for classifying the presence of garbage, consisting of a set of images obtained using a *DJI Mini 2* quadcopter, as well as those downloaded from free photo stocks. Using the *Data Augmentation* method, the dataset has been expanded to 1872 images. Applying the *Transfer Learning* method to the *ResNet18* convolutional neural network, we trained the neural network to classify the presence of garbage in the city of Bryansk. The task of detecting garbage in the context of geographic coordinates was implemented using the *Transfer Learning* method to the *YOLOV5* neural network. The article presents the implemented client part of the "Garbage Detection on the Municipality Territory" web application using the *Flask* framework in the *Python* programming language. The article presents the implemented client part of the "Garbage detection in the territory of the municipality" web application using the *Flask* framework in the *Python* programming language. The practical significance of the study lies in the fact that an intelligent system for detecting and accounting for debris on the territory of the municipality will allow to streamline the work with solid municipal waste, as well as control the timeliness of garbage disposal, improve the quality of cleaning the territory, control unauthorized landfills at the very beginning education, reduce the environmental burden and improve the environmental culture of citizens. The implementation of an intelligent waste detection and accounting system on the territory of municipalities in the Bryansk region is one of the areas of the *Smart City* project.

**Keywords:** *Transfer Learning, Smart City, Intelligent Trash Detection and Accounting, Data from DJI Mini 2 Quadcopter.*



**Введение.** Научные работы в области классификации и детектирования мусора на территории делают упор на решении следующих задач:

1. Представление специального набора данных для обнаружения мусора беспилотными летательными аппаратами. В работе [1] представлен набор данных, получивший название *UAVWaste*, содержит на момент написания работы 772 изображения с 3716 помеченными вручную аннотациями мусора в городской и природной среде, такой как улицы, парки и газоны. Набор данных с размеченными аннотациями мусора ТАСО [2], который содержит гораздо более крупные объекты с околосредней точки зрения, что делает его менее пригодным для использования.

Индийские исследователи Ариан, Хандельвал Абхилаша Синха, Амит Датта, Рохан Нишант, Раши Гупта, Шрей Рай реализовали проект размещения мусора на территории Индии, где представили набор данных, полученный с автомобильных камер автомобилей, дронов и фотографий, сделанных заинтересованными в уборке мусора [3].

2. Решение задачи детектирования объекта (мусора) на изображении. Точное обнаружение объектов на изображениях достигло огромного прогресса за последние несколько лет. Эта задача, хотя и является тривиальной для человека, все еще остается сложной даже для современных компьютеров. Однако применение сверточных нейронных сетей (*CCH*) позволило значительно повысить точность обнаружения объектов по сравнению с классическими подходами, основанными на ручной обработке признаков [4-7], приблизив результаты к человеческому уровню производительности. В результате подавляющее большинство современных систем обнаружения объектов базируется на решениях, основанных на *CNN*. В работе задача обнаружения мусора решена с помощью *ResNet-18* с добавлением полностью связанного слоя для классификации [8].

3. Детектирование мусора в разрезе географических координат. Наиболее точной нейросетью, которая используется в настоящее время для детектирования объектов, является *YOLOv5*, обученная на датасет *COCO*.

*YOLOv5* – сеть, которая дает высокий процент распознавания изображений.

Архитектура *YoloV5* представлена на рисунке 1.

Она состоит из трех частей: (1) магистраль: *CSPDarknet*, (2) шея: *PANet* и (3) Голова: Слой *YOLO*. Данные сначала вводятся в *CSPDarknet* для извлечения признаков, а затем передаются в *PANet* для объединения функций. *Yolo Layer* выводит результаты обнаружения (класс, оценка, местоположение, размер).

Актуальность темы исследования заключается в том, что засорение территории и выброшенный мусор, несмотря на прилагаемые усилия, по-прежнему является серьезной эстетической, экологической и социальной проблемой [13-15]. Уборка бытовых отходов в Брянской области – это обязанность регионального оператора по обращению с ТКО в Брянской

области - АО «Чистая планета» [11]. Однако ликвидация несанкционированных свалок и утилизация специфических видов отходов – это также забота местных органов власти [12], [16].

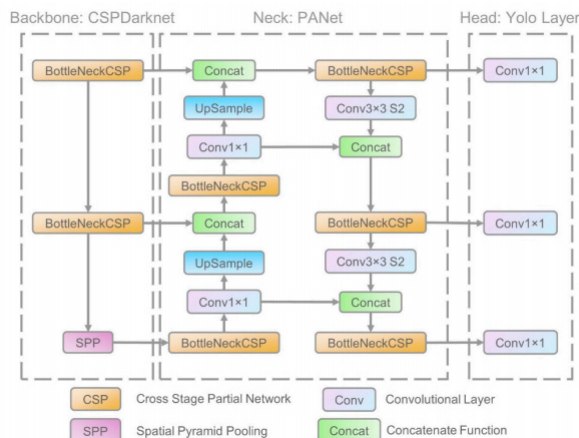


Рисунок 1 – Архитектура *YoloV5* [9]

**Целью** исследования является программная реализация и развертывание нейронной сети для классификации наличия мусора на территории города Брянска, а также программная реализация и развертывание нейронной сети для детектирования мусора в разрезе географических координат. Для решения данной цели в статье поставлены следующие задачи.

Применяя метод *Transfer Learning* к сверточной нейронной сети *ResNet18*, обучить нейронную сеть для классификации наличия мусора на территории города Брянска. Входными параметрами модели сети должны являться фреймы видеопотока с частотой раз в 30 с. по данным видеосъемки квадрокоптера. В случае определения нейронной сетью класса «Наличие мусора» необходимо реализовать детектирование мусора в разрезе географических координат. Для этого, применяя метод *Transfer Learning* к нейронной сети *YOLOv5*, необходимо обучить нейронную сеть для детектирования мусора на территории города Брянска в разрезе географических координат. Входными параметрами модели сети должны являться фреймы видеопотока, а также файл метаданных с координатами *\*.str*. Обнаруженный мусор необходимо вывести на географическую карту. Для снятия с учета убранного мусора необходимо реализовать пользовательский интерфейс.

Схема развертывания разрабатываемой системы представлена следующей схемой (рис. 2).

**Материалы и результаты исследования.** В проведенном исследовании использовался следующий технологический стек:

– *TensorFlow* – фреймворк для машинного обучения, разработанный компанией *Google* для решения задач построения и тренировки нейронной сети с целью автоматического нахождения и классификации образов.

– *PyTorch* – фреймворк машинного обучения для языка *Python* с открытым исходным кодом, созданный

на базе *Torch*, который используется для решения таких задач, как компьютерное зрение, обработка естественного языка.

– *Flask* – фреймворк для создания веб-приложений

на языке программирования *Python*, использующий набор инструментов *Werkzeug*, а также шаблонизатор *Jinja2*.

– СУБД: *SQLite*.

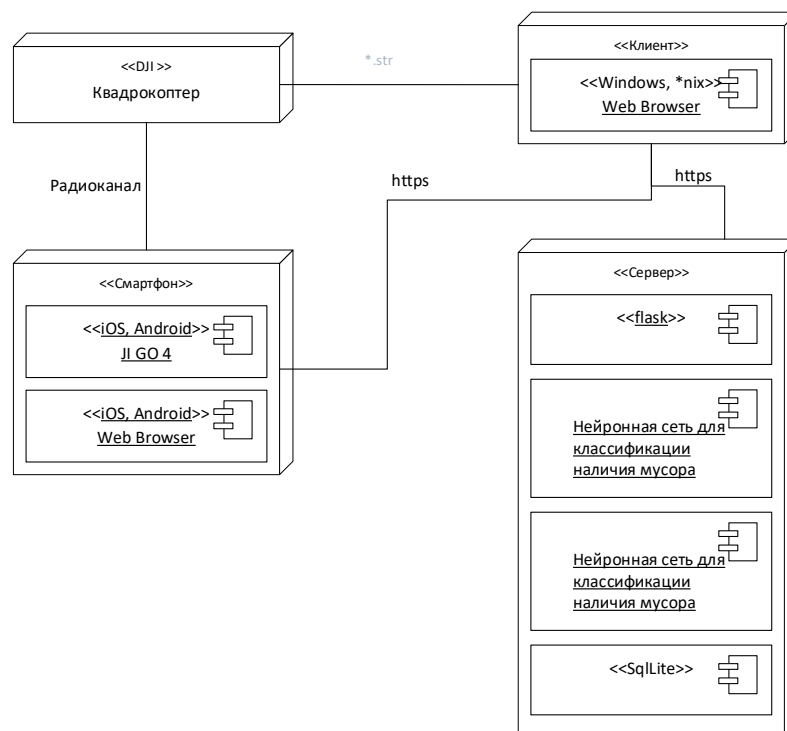


Рисунок 2 – Диаграмма развёртывания системы обнаружения и детектирования мусора (составлен авторами)

Этапы проведения исследования:

1. Подготовка набора данных для обучения нейронной сети классификации наличия мусора. Набор изображений из 112 фотографий, сделанных с помощью квадрокоптера *DJI Mini 2* в разрешении 4000 x 2250. Дополнительно с бесплатных фотостоков было скачено более 200 изображений с различными разре-

шениями.

В целях расширения исходного набора данных автором применен метод – *Data Augmentation*. Для этого был реализован класс *ImageDataGenerator* из *Python*-фреймворк *TensorFlow*.

Аугментация проводилась по следующим направлениям:

1. Поворот. Угол поворота задаем случайным значением в диапазоне от 0 до 360 градусов.



2. Смещение по ширине. Смещения на 1/2 доли



3. Смещение по высоте. Диапазоны изменений задаются параметром *height\_shift\_range*. Диапазоны изменений такие же, как и у смещения по ширине:



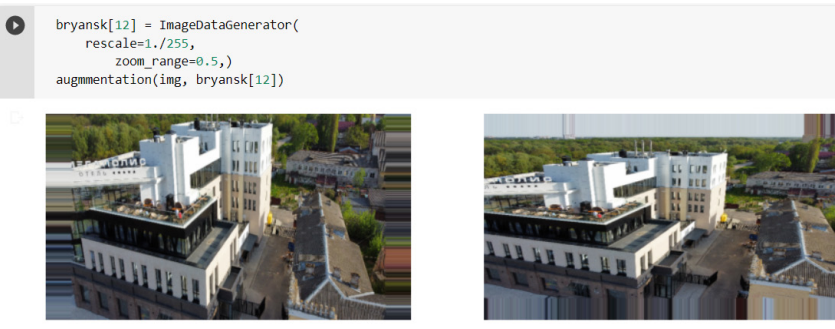
4. Изменение яркости и канала изображения. Изменение яркости задаем параметром *brightness\_range*



5. Сдвиг изображений. Сдвиг выглядит следующим образом:



6. Масштабирование изображения. Ещё одним методом преобразования изображений, является его масштабирование. С помощью параметра *zoom\_range* настраивается насколько изображение должно быть приближено/отдалено:



Таким образом исходный набор данных был расширен до 1872 изображений. «Скошенность» набора данных, т.е. присутствия изображения с различным разрешением, исправляется методом *transforms.Compose* из *PyTorch*.

Разметка объектов осуществлялась путем сортировки изображений в соответствующие директории, которые подаются на вход методу *ImageFolder*:

```
image_datasets = {x: datasets.ImageFolder(os.path.join(data_dir, x), data_transforms[x])
```

2. Обучение нейронной сети классификации наличия мусора. Исходя из поставленной задачи структура нейронной сети для классификации наличия мусора на территории города Брянска выглядит следующим образом:

Layer (type)	Output Shape	Param #
Conv2d-1	[-1, 64, 112, 112]	9,408
BatchNorm2d-2	[-1, 64, 112, 112]	128
ReLU-3	[-1, 64, 112, 112]	0
MaxPool2d-4	[-1, 64, 56, 56]	0
Conv2d-5	[-1, 64, 56, 56]	36,864
BatchNorm2d-6	[-1, 64, 56, 56]	128
ReLU-7	[-1, 64, 56, 56]	0
Conv2d-8	[-1, 64, 56, 56]	36,864
BatchNorm2d-9	[-1, 64, 56, 56]	128
ReLU-10	[-1, 64, 56, 56]	0
BasicBlock-11	[-1, 64, 56, 56]	0
Conv2d-12	[-1, 64, 56, 56]	36,864
BatchNorm2d-13	[-1, 64, 56, 56]	128
ReLU-14	[-1, 64, 56, 56]	0
Conv2d-15	[-1, 64, 56, 56]	36,864
BatchNorm2d-16	[-1, 64, 56, 56]	128
ReLU-17	[-1, 64, 56, 56]	0
BasicBlock-18	[-1, 64, 56, 56]	0
Conv2d-19	[-1, 128, 28, 28]	73,728
BatchNorm2d-20	[-1, 128, 28, 28]	256
ReLU-21	[-1, 128, 28, 28]	0
Conv2d-22	[-1, 128, 28, 28]	147,456
BatchNorm2d-23	[-1, 128, 28, 28]	256
Conv2d-24	[-1, 128, 28, 28]	8,192
BatchNorm2d-25	[-1, 128, 28, 28]	256
ReLU-26	[-1, 128, 28, 28]	0
BasicBlock-27	[-1, 128, 28, 28]	0
Conv2d-28	[-1, 128, 28, 28]	147,456
BatchNorm2d-29	[-1, 128, 28, 28]	256
ReLU-30	[-1, 128, 28, 28]	0
Conv2d-31	[-1, 128, 28, 28]	147,456
BatchNorm2d-32	[-1, 128, 28, 28]	256
ReLU-33	[-1, 128, 28, 28]	0
BasicBlock-34	[-1, 128, 28, 28]	0
Conv2d-35	[-1, 256, 14, 14]	294,912
BatchNorm2d-36	[-1, 256, 14, 14]	512
ReLU-37	[-1, 256, 14, 14]	0
Conv2d-38	[-1, 256, 14, 14]	589,824
BatchNorm2d-39	[-1, 256, 14, 14]	512
Conv2d-40	[-1, 256, 14, 14]	32,768
BatchNorm2d-41	[-1, 256, 14, 14]	512
ReLU-42	[-1, 256, 14, 14]	0
BasicBlock-43	[-1, 256, 14, 14]	0
Conv2d-44	[-1, 256, 14, 14]	589,824
BatchNorm2d-45	[-1, 256, 14, 14]	512
ReLU-46	[-1, 256, 14, 14]	0
Conv2d-47	[-1, 256, 14, 14]	589,824
BatchNorm2d-48	[-1, 256, 14, 14]	512
ReLU-49	[-1, 256, 14, 14]	0
BasicBlock-50	[-1, 256, 14, 14]	0
Conv2d-51	[-1, 512, 7, 7]	1,179,648
BatchNorm2d-52	[-1, 512, 7, 7]	1,024
ReLU-53	[-1, 512, 7, 7]	0
Conv2d-54	[-1, 512, 7, 7]	2,359,296
BatchNorm2d-55	[-1, 512, 7, 7]	1,024
Conv2d-56	[-1, 512, 7, 7]	131,072
BatchNorm2d-57	[-1, 512, 7, 7]	1,024
ReLU-58	[-1, 512, 7, 7]	0
BasicBlock-59	[-1, 512, 7, 7]	0
Conv2d-60	[-1, 512, 7, 7]	2,359,296
BatchNorm2d-61	[-1, 512, 7, 7]	1,024
ReLU-62	[-1, 512, 7, 7]	0
Conv2d-63	[-1, 512, 7, 7]	2,359,296
BatchNorm2d-64	[-1, 512, 7, 7]	1,024
ReLU-65	[-1, 512, 7, 7]	0
BasicBlock-66	[-1, 512, 7, 7]	0
AdaptiveAvgPool2d-67	[-1, 512, 1, 1]	0
Linear-68	[-1, 2]	1,026

Total params: 11,177,538  
 Trainable params: 1,026  
 Non-trainable params: 11,176,512

Input size (MB): 0.57  
 Forward/backward pass size (MB): 62.79  
 Params size (MB): 42.64  
 Estimated Total Size (MB): 106.00



Первые 18 сверточных слоев взяты из нейронной сети *ResNet18*:

```
model_ft = models.resnet18(pretrained=True)
# замораживаем веса
for param in model_ft.parameters():
    param.requires_grad = False
```

Дополнительно мы создали линейный слой, у которого 2 выхода и входы определены по количеству классов *ResNet18*.

```
Функция потерь определена следующим образом:
criterion = nn.CrossEntropyLoss()
```

```
Оптимизатор определен следующим образом:
optimizer_ft=optim.SGD(model_ft.parameters(),
lr=0.001, momentum=0.9)
```

Количество эпох обучения: 25

Изменение значений функции потерь и метрики *Accuracy* в процессе обучения нейронной сети представлены на рисунке 3.

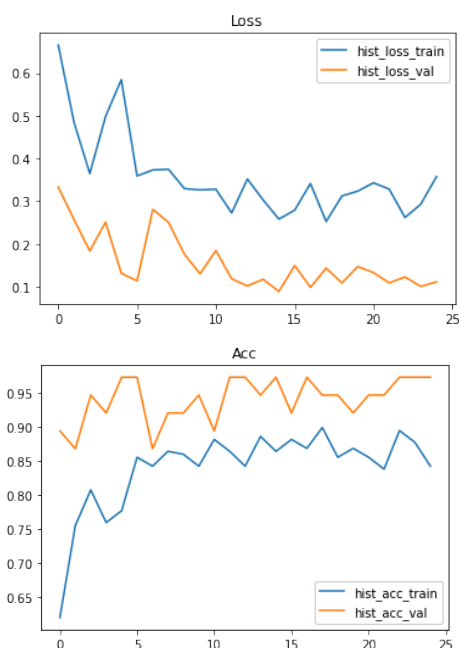


Рисунок 3 – Изменение значений функции потерь и метрики *Accuracy* в процессе обучения нейронной сети

**3. Подготовка набора данных и обучение нейронной сети детектирования мусора в разрезе географических координат.** Исходя из поставленной задачи нейронная сеть для детектирования мусора на территории города Брянска основывается на алгоритмах *YOLOv5*.

*Detect.py* выполняет логический вывод из различных источников, автоматически загружая модели из последней версии *YOLOv5* и сохраняя результаты в *runs/detect*.

```
$ python detect.py --source 0 # webcam
file.jpg # image
file.mp4 # video
path/ # directory
path/*.jpg # glob
'https://youtu.be/NUsoVlDFqZg' # YouTube video
'rtsp://example.com/media.mp4' # RTSP, RTMP, HTTP
stream
```

*YOLO* требует, чтобы набор данных был в формате *darknet*. Координаты прямоугольника должны быть нормализованы от 0 до 1.

Разметку изображений реализовали в программе *labelImg* (рис. 4).

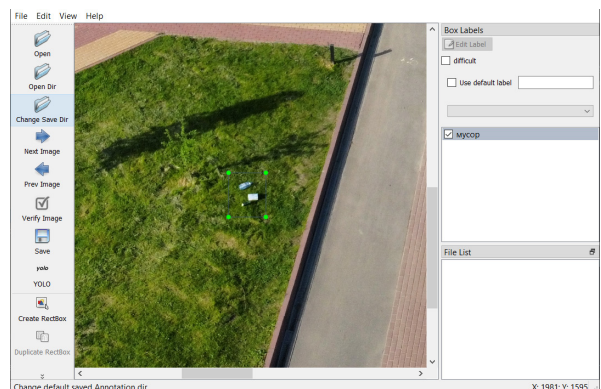


Рисунок 4 – Разметка изображений для детектирования мусора.

Для переноса обучения необходимо настроить конфигурационный файл, шаблон которого берем из исходных файлов *yolov5* по пути ... *\yolov5\_master\cfg*. Затем сохраняем веса для настроенного конфигурационного файла.

Обучение проводилось на видеокарте *XFx Radeon RX 550 4GB*. Количество эпох: 570. По окончании обучения сеть сохранилась в файл *last.pt*.

Проект реализован в виде *web*-приложения с помощью фреймворка *Flask* на языке программирования *Python* (рис. 5).

В рамках полевых испытаний из трех объектов «Мусор», реально попавших в зону видимости квадрокоптера по маршруту вдоль Набережной города Брянска, было детектировано два объекта.

Деплой проекта осуществлялся на облачной *PaaS*-платформе – *Heroku*. Проект опубликован по адресу: <https://garbage32kod.herokuapp.com/>

Мы получаем изображения на сервере от дрона. Наша модель машинного обучения проверяет наличие мусора в изображениях и, если мусор обнаружен, он сохраняет изображение в базе данных *SQLite*. Мусор детектируется с помощью нейронной сети *YOLOv5* и выводятся координаты нахождения мусора на карту. Фрейм с детектированным мусором и изображения *Яндекс.карты* с отмеченным мусором в режиме реального времени видны эоактивисту / уборщику мусора.

Эоактивист/уборщик патрулирует свою зону, может менять график очистки мусора, не выходить на уборку, если мусора нет, наоборот, увеличивать количество выходов на уборку в случае обнаружения нового мусора сразу в нескольких местах. Приезжая на место, указанное в *web*-приложении, он убирает мусор, при этом выбирает команду «Мусор убран». Либо в случае ошибки нейросети, эоактивист / уборщик выбирает команду: «Это не мусор».

Важную роль играет здесь администрация, регулирующая благоустройство и решающая экологические

проблемы на территории муниципалитета. Муниципальные служащие видят все те области, запрос на уборку которых был подан как минимум 1 день назад и все еще не очищен, координируют деятельность муниципальных предприятий, отвечающих за уборку территории, либо служб ЖКХ. Увеличение плотности

мусора позволяет объявлять волонтерские акции по уборке мусора, привлекая эоактивистов, через соцсети и официальные сайты.

Тем самым, повысится эффективность уборки территории муниципалитетов от мусора, более рационально будет организована работа уборщиков.

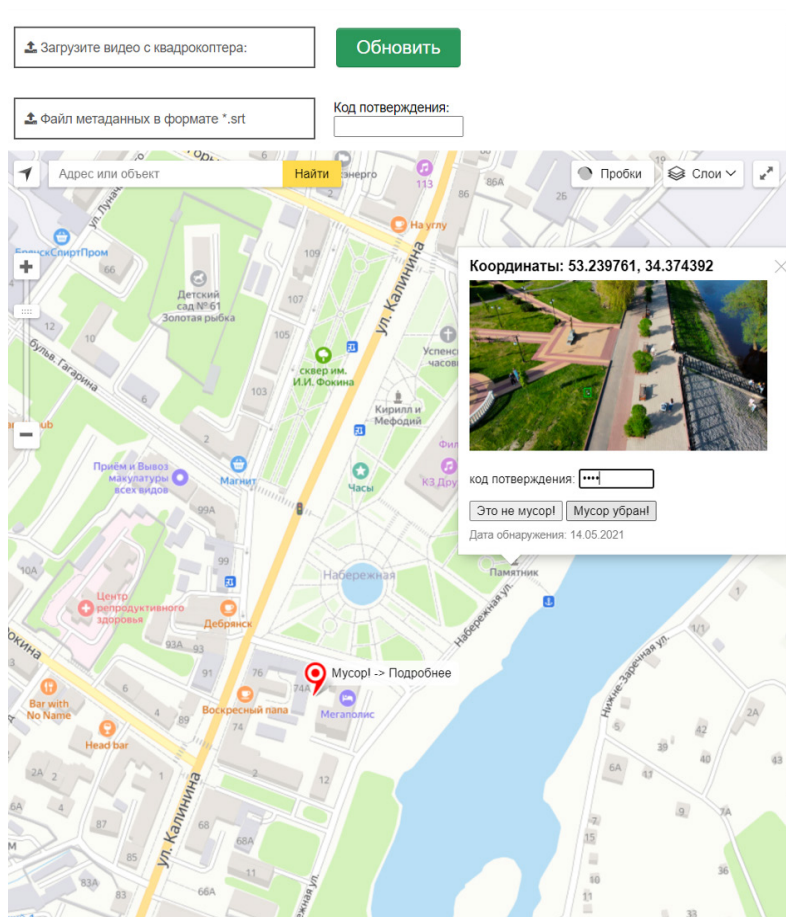


Рисунок 5 – Клиентская часть web-приложения «Детектирование мусора на территории муниципалитета»

**Заключение.** В статье получены результаты программной реализации и развертывания нейронной сети для классификации наличия мусора на территории города Брянска, а также программной реализации и развертывания нейронной сети для детектирования мусора в разрезе географических координат.

Подготовлен набор данных для обучения нейронной сети классификации наличия мусора, состоящий из набора изображений, полученных с помощью квадрокоптера *DJI Mini 2*, а также скаченных с бесплатных фотостоков. С использованием метода *Data Augmentation* набор данных расширен до 1872 изображений.

Применив метод *Transfer Learning* к сверточной нейронной сети *ResNet18*, обучили нейронную сеть для классификации наличия мусора на территории города Брянска.

Задача детектирования мусора в разрезе географических координат реализована с помощью метода *Transfer Learning* к нейронной сети *YOLOv5*.

Реализована клиентская часть web-приложения «Детектирование мусора на территории муниципали-

тета» с помощью фреймворка *Flask* на языке программирования *Python*.

Исследование, проведенное авторами статьи, имеет практическую значимость, так как разработанная интеллектуальная система позволит упорядочить работу с твердыми коммунальными отходами, а также контролировать своевременности вывоза мусора, повысить качество уборки территории, контролировать несанкционированные свалки в самом начале их образования, снизить экологическую нагрузку и улучшить экологическую культуру граждан. Интеллектуальная система обнаружения и учета мусора на территории муниципалитета – это создание *Smart City* в Брянской области [17].

Следует отметить возможность использования данного решения в управлении городским хозяйством Брянска, других муниципальных образований Брянской области.

Дальнейшие исследования авторов позволят изучить применение сверточной нейронной сети и метода *Transfer Learning* к решению других задач построения *Smart City* [18-20].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kraft M. et al. Autonomous, onboard vision-based trash and litter detection in low altitude aerial images collected by an unmanned aerial vehicle //Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – №. 5. – С. 965.
2. Proença, P.F.; Simões, P. TACO: Trash Annotations in Context for Litter Detection. arXiv 2020, arXiv:2003.06975
3. [https://github.com/rondon1947/RA26\\_Ctrl-Alt-Elite\\_WIMDR](https://github.com/rondon1947/RA26_Ctrl-Alt-Elite_WIMDR)
4. Lowe, D.G. Object recognition from local scale-invariant features. In Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, Kerkyra, Greece, 20–27 September 1999; Volume 2, pp. 1150–1157.
5. Dalal, N.; Triggs, B. Histograms of oriented gradients for human detection. In Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), San Diego, CA, USA, 20–25 June 2005; Volume 1, pp. 886–893.
6. Felzenszwalb, P.F.; Girshick, R.B.; McAllester, D.; Ramanan, D. Object detection with discriminatively trained part-based models. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2009, 32, 1627–1645. [CrossRef] Remote Sens. 2021, 13, 965 16 of 18
7. Malisiewicz, T.; Gupta, A.; Efros, A.A. Ensemble of exemplar-SVMs for object detection and beyond. In Proceedings of the 2011 International Conference on Computer Vision, Barcelona, Spain, 6–13 November 2011; pp. 89–96.
8. <https://www.pluralsight.com/guides/introduction-to-resnet>
9. Glenn Jocher; Alex Stoken; Jirka Borovec; NanoCode012; Ayush Chaurasia; TaoXie; Liu Changyu; Abhiram V; Laughing; tkianai; yxNONG; Adam Hogan; lorenzomamma; AlexWang1900; Jan Hajek; Laurentiu Diaconu; Marc; Yonghye Kwon; oleg; wanghaoyang0106; Yann Defretin; Aditya Lohia; ml5ah; Ben Milanko; Benjamin Fineran; Daniel Khromov; Ding Yiwei; Doug; Durgesh; Francisco Ingham. ultralytics/yolov5: v5.0 - YOLOv5-P6 1280 models, AWS, Supervise.ly and YouTube integrations Режим доступа: [https://zenodo.org/record/4679653#.YK69\\_agzbc](https://zenodo.org/record/4679653#.YK69_agzbc)
10. Xu, R.; Lin, H.; Lu, K.; Cao, L.; Liu, Y. A Forest Fire Detection System Based on Ensemble Learning. Forests 2021, 12, 217. <https://doi.org/10.3390/f12020217>
11. Мирный А. Н. и др. Санитарная очистка и уборка населенных мест. – 2010.
12. Шкляр В. П., Хизов А. В. Особенности организации уборки мусора и его утилизации в городе Саратове //Инновации природообустройства и защиты окружающей среды. – 2019. – С. 325-327.
13. Нарбут Н. А. Экологический каркас как форма организации территории //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – №. 4.
14. Горлов Д. М., Коваленко Л. В. К вопросу о роли прогрессивных технологий в современном менеджменте //Вестник академии знаний. – 2019. – №. 2 (31).
15. Абдулкаримова А. М. Экологические проблемы и перспективы переработки твердых бытовых отходов в Чеченской Республике //Природопользование и устойчивое развитие регионов России. – 2020. – С. 10-13.
16. Kazakov O.D., Kulagina N.A., Azarenko N.Y. Machine learning methods in municipal formation // Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. Ser. "Lecture Notes in Networks and Systems" Plek-hanov Russian University of Economics. Luxembourg, 2020. P. 339-346
17. Азаренко Н.Ю., Казаков О.Д. От интеллектуальной системы обнаружения и учета мусора на территории муниципалитета к созданию SMART CITY // Статистический анализ социально-экономического развития субъектов Российской Федерации: Материалы 8-ой Международной научно-практической конференции / Брянский государственный инженерно-технологический университет. – Брянск, 2021. С.17-20
18. Зотов В.Б. «Умный город»: методология построения системы //Муниципальная академия. – 2019. – №. 3. – С. 3-11.
19. Морозова Н.А., Пузевич А.В. Межведомственное взаимодействие на федеральном и муниципальном уровне в соответствии с концепцией «smart-city» //Современные научные исследования и разработки. – 2018. – №. 10. – С. 566-569.
20. Солдатов С. Smart City-город будущего //Современные технологии автоматизации. – 2015. – №. 2. – С. 24.

Статья поступила в редакцию 16.05.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021



УДК 614.2

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0012

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ РЕЙТИНГА ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

© 2021

**Позднякова Татьяна Николаевна**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры «Биомедицинская инженерия»

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

**Аннотация.** На современном этапе реформирования системы здравоохранения главной задачей государства является повышение качества и доступности оказания медицинской помощи населению. Рейтингование медицинских организаций является одним из ключевых инструментов, позволяющих улучшить функционирование как отдельных лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), так и отрасли здравоохранения в целом. Кроме этого, система рейтинговых оценок способствует повышению конкурентоспособности учреждений здравоохранения, т.к. помогает пациентам при выборе медицинской организации, даёт возможность оценить эффективность использования ресурсов и тем самым влияет на правильность принятия управленческих решений. В статье анализируются исторические аспекты изучаемого вопроса. Рассматривается зарубежный опыт формирования рейтинга медицинских организаций, объективные и субъективные показатели методик ранжирования ЛПУ. Выявлено, что в основе большинства существующих рейтингов лежат классические принципы анализа триады индикаторов Донабедиана (качество ресурсов, качество процесса и качество результатов). Проанализирована отечественная практика формирования рейтинга учреждений здравоохранения. Изучены методики оценки деятельности медицинских организаций, рекомендованных Министерством здравоохранения и социального развития РФ, выявлены их основные преимущества и недостатки. В результате проведённого исследования установлено, что Российская практика рейтингования медицинских учреждений находится в стадии формирования, является многоплановым комплексным процессом, требующим всестороннего изучения и постоянной доработки.

**Ключевые слова:** здравоохранение, эффективность, рейтингование, лечебно-профилактическое учреждение, качество медицинской помощи, методы, методика, субъективные показатели, объективные показатели, способы, баллы, индикаторы, показатели, анализ, ресурсы, независимая оценка.

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE FORMATION OF THE RATING OF MEDICAL AND PREVENTIVE INSTITUTIONS

© 2021

**Pozdnyakova Tatyana Nikolaevna**, candidate of agricultural sciences,  
associate professor, of the department of «Biomedical Engineering»

*Penza State Technological University  
(440039, Russia, Penza, Baydukov proyezd / Gagarin street, 1a/11, e-mail: tanjapozd@mail.ru)*

**Abstract.** At the present stage of reforming the health care system, the main task of the state is to improve the quality and accessibility of medical care to the population. The rating of medical organizations is one of the key tools to improve the functioning of both individual medical institutions (health care facilities) and the healthcare industry as a whole. In addition, the rating system contributes to improving the competitiveness of health care institutions, since it helps patients when choosing a medical organization, provides an opportunity to evaluate the efficiency of resource use and thus affects the correctness of management decisions. The article analyzes the historical aspects of the issue under study. The article considers the foreign experience of forming the rating of medical organizations, objective and subjective indicators of the methods of ranking medical institutions. It is revealed that most of the existing ratings are based on the classical principles of the analysis of the triad of Donabedian indicators (quality of resources, quality of the process and quality of results). The article analyzes the domestic practice of forming the rating of health care institutions. The methods of evaluating the activities of medical organizations recommended by the Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation are studied, their main advantages and disadvantages are identified. As a result of the conducted research, it is established that the Russian practice of rating medical institutions is in the process of formation, is a multifaceted complex process that requires comprehensive study and constant improvement.

**Keywords:** health care, efficiency, rating, treatment and prevention facility, quality of medical care, methods, methodology, subjective indicators, objective indicators, methods, score, indicators, indicators, analysis, resources, independent evaluation.

**Введение.** На протяжении последних десятилетий отрасль здравоохранения является одной из самых динамично развивающихся сфер народного хозяйства. Повышение доступности и качества медицинской

помощи, совершенствование всех объектов системы здравоохранения – одна из главных задач государства. Учитывая быстрые темпы жизни населения, с каждым днём увеличиваются требования к условиям, качеству



и номенклатуре предоставляемой медицинской помощи, пациенты все чаще обращаются в частные медицинские клиники, поэтому конкуренция между лечебными учреждениями ежегодно возрастает [1-10]. Одним из наиболее хорошо зарекомендовавших инструментов повышения функционирования здравоохранения является рейтингование медицинских организаций. Ранжирование лечебно-профилактических учреждений – достаточно простая и действенная форма контроля качества оказания медицинской помощи населению, характеризующая деятельность организаций по ключевым показателям. Кроме этого, позиция в общем рейтинге медицинских организаций оказывает существенное воздействие на потребительский выбор, а также влияет на репутацию поставщиков медицинских услуг. Поэтому применение системы рейтинговых оценок учреждений здравоохранения является одной из актуальных и востребованных задач на самых различных уровнях принятия управленческих решений [2-4]. Выбор метода оценки деятельности и ранжирования медицинских организаций зависит от целей и задач такого анализа и целевых аудиторий в лице государственных органов, страховых компаний и пациентов.

**Цель** настоящей работы заключалась в анализе зарубежной и отечественной практики рейтингования медицинских организаций, выявлении основных преимуществ и недостатков в существующих методиках составления рейтинга ЛПУ.

**Материалы и результаты исследований.** Зарубежный опыт рейтингования медицинских организаций насчитывает более 60 лет. Точкой отсчёта считается 1965 год, когда во многих странах после проведения «Конгресса по науке и космонавтике» стали создаваться специальные «Офисы оценки технологий», которые занимались оценкой эффективности технологий, используемых не только в медицине, но и в других областях деятельности. Постепенно появлялись специальные агентства, которые ранжировали медицинские учреждения по эффективности и качеству медицинского обслуживания [4,7,10,11]. В последние 20 лет в большинстве развитых стран уделяется повышенное внимание оценке деятельности ЛПУ на национальном уровне. В период с 2002 по 2008 год в США были проведены фундаментальные исследования, направленные на выявление эффективности и качества оказания медицинской помощи населению. На основе данных исследований, а также в процессе анализа мнения экс-

пертов, была разработана единая методика оценки качества оказания медицинской помощи, действующая на всей территории страны [11-13]. На протяжении последних десятилетий в США апробировано более 10 различных методик, основанных на объективных и субъективных показателях.

Субъективные показатели основываются на мнении пациентов. Для этих целей была разработана специальная анкета, состоящая из 11 категорий вопросов, при анализе которых формируется рейтинг медицинских учреждений. Респонденты оценивают имидж медицинского учреждения, профессиональные качества работников, общедоступность информации для потребителей, привлекательность учреждения, доступность медицинской помощи, удовлетворённость полученным результатом, уровень материально-технического оснащения ЛПУ и т.д.

Объективные показатели основываются на статистических данных, указанных в действующих формах отчётности, включают около 60 показателей, среди которых: летальность пациентов; безопасность пациентов; профилактическая направленность; своевременность оказания медицинских услуг; эффективность использования диагностического оборудования и т.д. [7].

В таких странах как Голландия, Дания, Канада, Великобритания для оценки деятельности ЛПУ применяется более 50 показателей, в Германии их около 100 [12,13]. Критерии оценки периодически пересматриваются и корректируются. Различают одномерные (1 количественный или качественный показатель) и многомерные (несколько количественно-качественных показателей) ранжирования. При формировании рейтинга медицинских организаций используются различные методы и способы формирования итоговой оценки, такие как: коэффициенты (эффективности, соответствия, удовлетворённости), индекс безопасности пациентов, ранговые баллы, показатели эффективности деятельности организаций, условные интегрированные показатели и т. д., а также различные методы обработки результатов статистических исследований. Рейтинги учреждений здравоохранения, составленные различными способами оценки, в большинстве случаев не совпадают [4,5,6,8].

Анализ методик составления рейтинга ЛПУ в зарубежных странах показал, что при составлении рейтинга наиболее часто используют триаду индикаторов Донабедиана (рис.1).



Рисунок 1 - Триада индикаторов оказания качества медицинской помощи Донабедиана

*Индикаторы качества ресурсов* определяют возможности учреждений здравоохранения, при существующих ресурсах, выполнять поставленные цели и задачи и гарантировать пациентам оказание медицинской помощи определённого качества.

*Индикаторы качества процесса* оценивают медицинскую (анализ и оценка действий врача с учетом современных методов оказания медицинской помощи при учёте индивидуальных особенностей пациента и ресурсных возможностей ЛПУ) и организационную (организация процесса оказания медицинской помощи и управление ЛПУ в целом) технологии.

*Индикаторы качества результатов* оценивают абсолютные и относительные показатели, характеризующие соотношение между произведенными затратами и достигнутым результатом.

Российская практика рейтингования медицинских учреждений находится в стадии формирования. В настоящее время ведутся активные исследования в области получения содержательного наполнения и количественного измерения показателей, необходимых для составления методик оценки эффективности деятельности учреждений здравоохранения [8-10]. Заинтересованными лицами в составлении рейтинга ЛПУ в нашей стране в основном выступают федеральные и региональные органы управления здравоохранением, а также руководители медицинских учреждений, страховые компании и сами пациенты.

Первые попытки рейтингования медицинских организаций в РФ были предприняты в 2009 году. Федеральным фондом обязательного медицинского страхования предложена методика проведения социологического исследования, направленная на структуризацию действий страховых медицинских компаний с целью повышения эффективности оказания медицинской помощи застрахованным [14,15].

В 2012 г. Министерством здравоохранения и социального развития РФ разработаны методические рекомендации по проведению рейтингования организаций здравоохранения, которые в дальнейшем были апробированы на учреждениях, подотчётных данному министерству.

Согласно данной методике, при проведении рейтингования оценке подвергались следующие показатели деятельности медицинских организаций (табл. 1) [16].

Одним из очевидных достоинств данной методики является простота её использования при проведении расчётов основных показателей деятельности ЛПУ. Вместе с тем, по мнению многих авторов [4-6], предложенная методика имеет ряд отрицательных моментов, таких, как:

- не существует разделения медицинских учреждений на определённые категории (детские и взрослые клиники, по видам оказываемой помощи);
- требуются уточнения по показателю «внутрибольничная летальность», т.к. в учреждениях здравоохранения, оказывающих специализированные виды медицинской помощи (онкологические и туберкулёз-

ные диспансеры), данный показатель будет превышать среднестатистические значения;

- показатель «число посещений на 1 врачебную должность» для специализированных учреждений, как правило, малоинформативен;

- понятие «объём медицинской помощи, оказанной за счёт государственных источников финансирования» не утончено, т.к. большинство учреждений, оказывающих специализированные виды медицинской помощи, получают дотации от государства, а финансовые средства ОМС зачисляются на внебюджетный счёт;

- показатели «доля врачей, имеющих квалификационную категорию» и «доля средних медицинских работников, имеющих квалификационную категорию» зависят от работы аттестационной комиссии Министерства здравоохранения России и в большинстве случаев не являются подконтрольными в государственных учреждениях здравоохранения.

В названных публикациях анализу подвергались только объективные показатели оказания качественной медицинской помощи, основанные на расчёте эффективности использования ресурсов организации, мнение населения не учитывалось.

В дальнейшем происходила доработка методики за счёт введения модуля, позволяющего учитывать мнение пациентов, относительно качества медицинского обслуживания.

В 2014 г. согласно рекомендациям Минздрава России на основе триады Донабедиана (качество ресурсов; качество процессов; качество результатов) разрабатывались оценочные критерии, позволяющие составить рейтинг медицинских организаций [17,18]. Однако из-за сложности подсчёта интегральных рейтинговых показателей (более 35 показателей), смешения показателей оценки деятельности ЛПУ пациентами и показателей, которые должны рассчитываться непосредственно организациями здравоохранения и малопонятны пациентам, данная методика не получила широкого распространения [7].

Авдеева М.В. [6] и другие авторы считают, что, несмотря на появление комплексной методики рейтингования ЛПУ, рекомендованной Минздравом РФ, в практических условиях в ходе оценки и сравнения деятельности поставщиков медицинских услуг возникает ряд трудностей, а именно:

- не предусмотрено прогнозирование рисков, возникающих при снижении удовлетворённости пациентов качеством оказанных медицинских услуг;

- не выделены объективно-субъективные факторы, которые в первую очередь оказывают негативное влияние на эффективность и качество оказания медицинской помощи.

В 2015 году Минздравом России данный документ был отменен.

В последующие годы происходила доработка методики, основанной на расчёте интегральных показателей, путём введения дополнительного количества субъективных оценочных показателей.

Таблица 1 - Методика расчёта показателей рейтингования ЛПУ

Показатель	Критерии подсчёта
$ВБЛ = \frac{Ч_{ум.в.стаци.}}{Ч_{выб.бол.из.стаци.}} * 100$ <p>где ВБЛ – внутрибольничная летальность;  <math>Ч_{ум.в.стаци.}</math> – число умерших в стационаре;  <math>Ч_{выб.бол.из.стаци.}</math> – число выбывших больных из стационара.</p>	если больничная летальность составляет 0%, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждые 0,2% летальности
$Ч_{раб.койки\ в\ год} = \frac{Ч_{к-д.факт}}{Ч_{среднегод.к.}}$ <p>где <math>Ч_{раб.койки\ в\ год}</math> – среднее число работы койки в год;  <math>Ч_{к-д.факт}</math> – фактическое число койко-дней, проведённых больными в стационаре;  <math>Ч_{среднегод.к.}</math> – число среднегодовых коек.</p>	если среднее число работы койки в год составляет от 330 до 340 дней, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждые 2 дня отклонений
$Ч_{с.осл.п./операц.} = \frac{Ч_{осл.после\ операц.}}{Ч_{проведен.операц.}} * 100\%$ <p>где <math>Ч_{с.осл.после\ операц.}</math> – частота осложнений после операций;  <math>Ч_{осл.после\ операц.}</math> – число осложнений после операций;  <math>Ч_{операц.}</math> – число операций.</p>	если частота осложнений 0%, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждые 0,1% осложнений после операций
$Ч_{пос.на1врач.вгод} = \frac{Ч_{посещ.больн.в\ поликли.} + Ч_{посещ.больн.на\ дому}}{Ч_{занят.врач.должн.}}$ <p>где <math>Ч_{пос.на1врач.вгод}</math> – число посещений на 1 врача в год,  <math>Ч_{посещ.больн.в\ поликли.}</math> – число посещений больных в поликлинику;  <math>Ч_{посещ.больн.на\ дому}</math> – число посещений больных на дому;  <math>Ч_{занят.врач.должн.}</math> – число занятых врачебных должностей.</p>	если число посещений в год на 1 врача составляет 4240, то начисляется 100 баллов, сумма баллов снижается на 1 за каждые 25 недостигнутых к норме значений
Количество внеплановых проверок	от общей суммы баллов вычитается по 10 баллов за каждую внеплановую проверку, выявившую нарушения
$Д_{пос.} = \frac{V_{мед.пом.ГИФ}}{V_{мед.пом.ВН}} * 100\%$ <p>где <math>Д_{пос.}</math> – доля посещений в амбулаторно – поликлинических учреждениях, оказанных за счёт государственных источников финансирования;  <math>V_{мед.пом.ГИФ}</math> – объём мед. помощи, оказанной за счёт гос. источников финансирования;  <math>V_{мед.пом.ВН}</math> – объём мед. помощи, оказанной за счёт всех источников.</p>	если 100% доли посещений оказывается за счёт ГИФ, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждый 1% доли, выполненной за счёт внебюджетных источников
$Д_{г.п.} = \frac{V_{мед.пом.ГИФ}}{V_{мед.пом.ВН}} * 100\%$ <p>где <math>Д_{г.п.}</math> – доля объёма мед. помощи, оказанных за счёт государственных источников;</p>	если 100% доли мед. помощи оказывается за счёт ГИФ, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждый 1% доли, выполненной за счёт внебюджетных источников
$Д_{п.д.} = \frac{V_{мед.пом.ГИФ}}{V_{мед.пом.ВН}} * 100\%$ <p><math>Д_{п.д.}</math> – доля пациенто-дней в дневных стационарах медицинских организаций всех типов за счёт гос. источников финансирования;</p>	если 100% доли пациенто-дней за счёт ГИФ, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждый 1% доли, выполненной за счёт внебюджетных источников
$У_{в.к.} = \frac{Ч_{з.в.д.}}{Ч_{шт.в.д.}} * 100,$ <p>где <math>У_{в.к.}</math> – укомплектованность врачами;  <math>Ч_{з.в.д.}</math> – число занятых врачебных должностей;  <math>Ч_{шт.в.д.}</math> – число штатных врачебных должностей.</p>	если 100% укомплектованности, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждый 1% недоукомплектованности
$У_{с.м.п.} = \frac{Ч_{з.д.с.м.п.}}{Ч_{шт.д.с.м.п.}} * 100,$ <p>где <math>У_{с.м.п.}</math> – укомплектованность средним медицинским персоналом;  <math>Ч_{з.д.с.м.п.}</math> – число занятых должностей средн. мед. персонала;  <math>Ч_{шт.д.с.м.п.}</math> – число штатных должностей средн. мед. персонала.</p>	если 100% укомплектованности, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждый 1% недоукомплектованности
$Д_{в.к.к.} = \frac{Ч_{в.к.к.}}{Ч_{в.общ.}} * 100,$ <p>где <math>Д_{в.к.к.}</math> – доля врачей, имеющих квалификационную категорию;  <math>Ч_{в.к.к.}</math> – число врачей, имеющих квалификационную категорию;  <math>Ч_{в.общ.}</math> – общее число врачей организации.</p>	если 100% врачей, имеют квалификационную категорию, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждый 1% врачей, не имеющих категории
$Д_{с.м.п.к.к.} = \frac{Ч_{с.м.п.к.к.}}{Ч_{с.м.п.общ.}} * 100,$ <p>где <math>Д_{с.м.п.к.к.}</math> – доля среднего мед. персонала, имеющих квалификационную категорию;  <math>Ч_{с.м.п.к.к.}</math> – число среднего мед. персонала, имеющих квалификационную категорию;  <math>Ч_{с.м.п.общ.}</math> – общее число среднего мед. персонала организации.</p>	если 100% средних медицинских работников имеют квалификационную категорию, то начисляется 100 баллов, сумма баллов уменьшается на 1 за каждый 1% средних медицинских работников, не имеющих категории

Так в 2018 году Министерством здравоохранения РФ были разработан и утвержден перечень показателей, характеризующих общие критерии оценки качества условий оказания услуг медицинскими организациями, в отношении которых проводится независимая оценка (Приказ Министерства здравоохранения РФ от 4 мая 2018 г. № 201н «Об утверждении показателей, характеризующих общие критерии оценки качества условий оказания услуг медицинскими организациями, в отношении которых проводится независимая оценка») [19]. Оценка показателей производится в баллах, максимально возможное значение равно 100. Расчёт проводится в три этапа [20]:

**1 этап:** расчёт балла для каждого показателя оценки качества;

**2 этап:** в целом по организации;

**3 этап:** в целом по отрасли, муниципальному образованию, субъекту РФ.

Качество оказываемых услуг оценивается по пяти блокам показателей:

1) «Открытость и доступность информации об организации». Оценивается информация, размещённая на стендах и сайте медицинской организации, а также информационные способы взаимодействия с пациентами (возможность подачи электронного обращения, наличие анкеты для опроса населения и т.д.);

2) «Комфортность условий предоставления услуг, включая время ожидания предоставления медицинской услуги». Определяются такие показатели, как: доступность записи на приём к врачу, отсутствие очередей, время ожидания предоставления услуги и т.д.;

3) «Доступность услуг для инвалидов». Анализируются субъективные характеристики организационной культуры ЛПУ: наличие стоянок автотранспортных средств для людей с ограниченными возможностями, пандусы, специализированные лифты, наличие специальной версии сайта для слабовидящих людей, услуги сурдопереводчика, повторение звуковой и зрительной информации и т.д.;

4) «Доброжелательность, вежливость работников медицинской организации». Оцениваются личные качества медицинского персонала, оказывающих медицинскую помощь как непосредственно в организации, так и при использовании дистанционных форм коммуникаций с пациентами;

5) «Удовлетворенность условиями оказания услуг». Рассчитывается доля пациентов, которые удовлетворены условиями оказания услуг в ЛПУ и готовы рекомендовать медицинскую организацию потенциальным потребителям.

Согласно данной методике, условия оказания медицинской помощи более не делятся на стационарные и амбулаторные. Количество показателей значительно сократилось, введён показатель «Доступность услуг для инвалидов». Проведено уточнение некоторых показателей, таких как "Комфортность условий предоставления услуг, включая время ожидания предоставления медицинской услуги" и "Доброжелательность, вежливость работников медицинской организации".

Исключены показатели, характеризующие компетентность работников, оказывающих медицинскую помощь.

По мнению автора статьи, предложенная методика является несовершенной, т.к. не даёт комплексного представления о деятельности медицинской организации, учитывает лишь отдельные аспекты функционирования ЛПУ и нацелена в основном на потребителей услуг, т.е. пациентов, которых в большинстве своём интересует объём и качество оказанной медицинской помощи в рамках полиса ОМС. Помимо этого, независимую оценку проводят общественные советы, в состав которых входят представители правозащитных органов, профессиональных сообществ, а также сами пациенты, поэтому результаты проведённого исследования могут носить субъективный характер.

**Заключение.** Таким образом, существующие методики численной оценки качества медицинской помощи в учреждениях здравоохранения требуют совершенствования, при ранжировании ЛПУ необходимо комплексно оценивать их деятельность, выявлять сильные и слабые стороны функционирования с точки зрения эффективности использования имеющихся ресурсов. Это поможет принимать правильные управленческие решения не только на оперативном, но и на стратегическом уровне, а пациентам даст возможность получать актуальную информацию о качестве и объёме предоставляемых услуг и выбирать клинику, наиболее отвечающую потребностям потребителям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оценка эффективности деятельности медицинских организаций: учебно-методическое пособие / А.И. Вялков, В.З. Кучеренко, В.О. Флек, М.Е. Путин [и др.]; под ред.: А.И. Вялкова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2004. – 105 с.
2. Базовая методология и практика рейтинговых оценок в здравоохранении / Т.А. Сибурина, А.А. Князев, Л.К. Лохтина, Ю.В. Мирошникова // Социальные аспекты здоровья населения. – 2012. – 27 (5) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/427/30/lang.ru/> (дата обращения 10.04.2020).
3. Стародубов, В.И. Методологические технологии и руководство по управлению качеством медицинской помощи: моногр. / В.И. Стародубов, Г.И. Галанова. – ИД «Менеджер здравоохранения». – 2011. – 208 с.
4. Тарасенко, Е.А. Зарубежный опыт выбора показателей качества медицинской помощи для построения рейтингов медицинских организаций: уроки для России / Е.А. Тарасенко // Социальные аспекты здоровья населения. – 2013. – 6 (34). – С.1 – 19. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_21084492\\_43120705.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21084492_43120705.pdf) (дата обращения 10.02.2021).
5. Пухальский, А.Н. Методологические особенности формирования национального рейтинга медицинских учреждений / А.Н. Пухальский // Медицина и образование в Сибири. – 2014. – № 3. – С. 7-12.
6. Рейтингование медицинских организаций как способ повышения эффективности здравоохранения: история вопроса и перспективы использования / М.В. Авдеева, В.В. Ващенко, В.С. Лучкевич, В.А. Баркаева // Социальные аспекты здоровья населения. – 2015. – № 4 (44). – С.13 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24641984> (дата обращения 10.02.2021).
7. Улумбекова, Г.Э. Показатели деятельности медицинских организаций: Международный опыт / Г.Э. Улумбекова, А.В. Макляченко // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник ВШОУЗ. – 2017. – № 3 – С. 23-34.



8. Барскова, Г.Н. Российская практика рейтингования медицинских организаций / Г.Н. Барскова, Р.И. Девিশев, Л.К. Лохтина // Социальные аспекты здоровья населения. – 2014. – № 5 (39). – С.1 – 17 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_22631027\\_69362924.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22631027_69362924.pdf) (дата обращения 10.02.2021).

9. Алексеев, В.А. Оценка систем здравоохранения с позиций Всемирной организации здравоохранения / В.А. Алексеев, Ф.Е. Варганян, И.С. Шурандина // Здравоохранение. – 2009. – № 11. – С. 57–67.

10. Коробкова, О.К. Управление услугами учреждений здравоохранения на основе рейтинговой оценки их деятельности: учебное пособие для вузов / О.К. Коробкова. – Москва: Мегалион, 2003. – 158 с.

11. Technology Assessment: Lessons Learned from Around the World – An Overview. Value Health / J.C O'Donnell, S.VPham, C.L Pashos, D.W. Miller, M.D. Smith. – 2009. – N. 12 (Suppl. 2). – P. 1 – 5.

12. How We Rate Hospitals [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://ru.scribd.com/document/215543030/How-We-Rate-Hospitals> (дата обращения 10.02.2021).

13. Варавикова, Е.А. Лучшие больницы Америки в 2007 году – методология оценки / Е.А. Варавикова // Менеджер здравоохранения. – 2008. – № 9. – С. 58–61.

14. Полубенцева, Е.И. Клинические рекомендации и индикаторы качества в системе управления качеством медицинской помощи: методические рекомендации / Е.И. Полубенцева, Г.Э. Улумбекова, К.И. Сайткулов; Ассоц. мед. о-в по качеству. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 60 с.

15. Григорьева, Н. С. Оценка качества медицинских услуг и построение рейтингов медицинских организаций: опыт программы medicare в США / Н. С. Григорьева // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. – 2016. – Т. 1, № 5(111). – С. 71–77.

16. Письмо Минздрава России от 14.02.2012 N 14-3/10/2-1243 «О формировании системы рейтингов медицинских организаций и размещения их на сайтах органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации». – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.02.2021). — Режим доступа: КонсультантПлюс:[справ.-правовая система], свобод.из локал.сети ПензГТУ.

17. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 12 сентября 2014 г. № 503 “Об организации работы по формированию рейтингов государственных (муниципальных) учреждений, оказывающих услуги в сфере здравоохранения”. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.02.2021). – Режим доступа: КонсультантПлюс:[справ.-правовая система], свобод.из локал.сети ПензГТУ.

18. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 28.11.2014 г. № 787н «Об утверждении показателей, характеризующих общие критерии оценки качества оказания услуг медицинскими организациями». – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.02.2021). – Режим доступа: КонсультантПлюс:[справ.-правовая система], свобод.из локал.сети ПензГТУ.

19. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 4 мая 2018 г. № 201н «Об утверждении показателей, характеризующих общие критерии оценки качества условий оказания услуг медицинскими организациями, в отношении которых проводится независимая оценка». – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.02.2021). – Режим доступа: КонсультантПлюс:[справ.-правовая система], свобод.из локал.сети ПензГТУ.

20. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 31.05.2018 № 344н «Об утверждении Единого порядка расчета показателей, характеризующих общие критерии оценки качества условий оказания услуг организациями в сфере культуры, охраны здоровья, образования, социального обслуживания и федеральными учреждениями медико-социальной экспертизы». – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.02.2021). – Режим доступа: КонсультантПлюс:[справ.-правовая система], свобод.из локал.сети ПензГТУ.

*Статья поступила в редакцию 24.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 621.3.087.9

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0013

## ЦИФРОАНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ТОНАЛЬНЫМИ ТРАКТАМИ

© 2021

**Кожевников Алексей Александрович**, кандидат физико-математических наук,

доцент кафедры социально-гуманитарных, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин

*Филлиал Ростовского государственного университета путей сообщения в г. Воронеж*

*(394026, Россия, г. Воронеж, ул. Урицкого, 75а, e-mail: akozhev@yandex.ru)*

**Аннотация.** Вычислительная техника, функционирующая в системе остаточных классов (СОК), при небольшой аппаратной избыточности имеет преимущество в быстродействии и надежности над позиционной двоичной. Обозначенные плюсы необходимо ретранслировать на модулярные цифроаналоговые преобразователи и тем самым повысить общую эффективность автоматизированных систем. Сегодня рассматриваются две основные проблемы: 1) дальнейшему росту рабочих частот мешает наличие цифровой части; 2) являясь по сути функциональными преобразователями входной величины в значение синуса, устройства были ограничены в линейной области малыми значениями аргумента. Целью работы является изложение принципов построения модулярных ЦАП, функционирующих на основе кодирования вычетов СОК дискретными фазами синусоидального тока тональной частоты, на примере двух различных способов. Сравнивая эти варианты, можно отметить наличие ограничений: в первом случае - возможности применения только четверти объема чисел, а во втором, - использования только нечетных оснований, чтобы не нарушать условие взаимной простоты. Заявленная проблема существования цифровой части может быть решена отбрасыванием управляемых фазовращателей для первого способа, а для второго - заменой их на сумматоры фазы. Заложенное в рамках математической модели ограничение точности, реализуемое первыми членами тригонометрического ряда, показывает необходимость исследования более общего вида предложенной функции как основы модулярного цифроаналогового преобразования.

**Ключевые слова:** система остаточных классов, функциональные цифроаналоговые преобразователи.

## DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTERS WITH TONE PATHS

© 2021

**Kozhevnikov Aleksey Aleksandrovich**, candidate of physics and math.,

associate professor of department «Socio-humanitarian, natural science and general professional disciplines»

*Branch of Rostov State Transport University in Voronezh*

*(394026, Russia, Voronezh, Uritskogo street, 75a, e-mail: akozhev@yandex.ru)*

**Abstract.** Computing equipment operating in residue number system (RNS), with a small hardware redundancy, has an advantage in speed and reliability over positional binary. The indicated advantages should be retransmitted to modular digital-to-analog converters and thereby increase the overall efficiency of automated systems. Today, two main problems are being considered: 1) the further growth of operating frequencies is hindered by the presence of the digital part; 2) being essentially functional converters of the input value to the sine value, the devices were limited in the linear domain to small values of the argument. The purpose of the paper is to present the principles of constructing modular DACs that function on the basis of encoding the deductions of the RNS with discrete phases of the sinusoidal current of the tone frequency, using the example of two different methods. Comparing these options, we can note the presence of restrictions: in the first case, the possibility of using only a quarter of the volume of numbers, and in the second, the use of only odd bases, so as not to violate the condition of mutual simplicity. The stated problem of the existence of the digital part can be solved by discarding the controlled phase shifters for the first method, and for the second - by replacing them with phase adders. The mathematical model's precision constraint, implemented by the first terms of the trigonometric series, shows the need to study a more general form of the proposed function as the basis for a modular digital-to-analog transformation.

**Keywords:** residue number system, functional digital-to-analog converters.

**Введение.** Развитие измерительной и вычислительной техники движется сегодня в сторону повышения производительности. Например, современные осциллографы *LabMaster 10 Zi-A-R* фирмы *LeCroy*, благодаря супергетеродинному принципу переноса полосы частот, сложной схеме синхронизации процесса выборки сигнала и измерения на линейке АЦП, позволяют осуществлять преобразование со скоростью до 240 ГВыб/с и разрядностью 8 бит [1]. Тем не менее, в последние пять лет наблюдается некоторая стагнация в развитии данного направления. Возможным

толчком к росту производительности может послужить переход таких устройств к функционированию в системе остаточных классов (СОК) [2].

СОК при небольшой аппаратной избыточности позволяет увеличить быстродействие и надежность выполнения арифметических операций по сравнению с позиционной двоичной [2-4]. Эти плюсы необходимо ретранслировать и на измерительные преобразователи информации и тем самым высвободить вычислительные ресурсы и дополнительно повысить общую эффективность автоматизированных систем. В пер-

вую очередь это касается АЦП, поскольку их построение требует аппаратной реализации довольно сложных алгоритмов, сочетающих аналоговые и цифровые подходы к работе с сигналом. На начальном этапе решение проблемы реализовывалось через различные реплики [5] позиционных методов [6]. В рамках данной концепции нами активно исследовалась конвейерная архитектура устройств [7-9]. Отсутствие явного преимущества направило поиски в сторону предания методам преобразования большей «модулярности», т.е. привлечения подходов не свойственных или даже противоречащих природе АЦП, работающих в позиционных системах счисления [10,11].

Методы аналого-цифрового преобразования, использующие обратную связь для получения более точного цифрового эквивалента входной величины, такие как сигма-дельта ( $\Sigma\Delta$ ) и со сдвиговым регистром ( $SAR$ ), реализуются на основе схем, имеющих в своем составе ЦАП. Попытки развития теории модулярного цифроаналогового преобразования предпринимались уже несколько десятилетий [12,13]. Аналоги подходов позиционных методов не давали преимуществ, а только добавляли время преобразования и аппаратную избыточность. Потенциальное повышение быстродействия до десятков гигагерц возможно за счет кодирования модулярных чисел дискретными фазами синусоидального тока [14], что естественно вытекает из вращения значений вычетов по основаниям СОК. Анализ работ [13,14] показал: 1) для полноценного повышения рабочих частот необходимо избавиться от цифровой части; 2) функциональный преобразователь [15] вычетов в синус ограничен малой линейной областью, что позволяет использовать лишь небольшую часть объема чисел применяемой СОК. Начальным шагом в исследовании первого вопроса стали работы [16-18], позволившие описать простейшие арифметические устройства, функционирующие на основе дискретных фаз тональных сигналов. В качестве исходного подхода к решению второй проблемы предлагается данная публикация.

**Целью** работы является изложение принципов построения модулярных ЦАП, функционирующих на основе кодирования вычетов СОК дискретными фазами синусоидального тока тональной частоты.

**Материалы исследования.** Функциональные ЦАП в первую очередь ставят своей задачей отображение уровнем выходного сигнала, например напряжения, заданной нелинейной зависимости [15], которое в общем случае можно записать как:

$$U_A = f(A) \cdot E, \quad (1)$$

где  $f(A) \in [0;1]$ ,  $E$  - максимальное значение напряжения,  $A$  - целое число (преобразуемый код) в диапазоне  $[0; P)$ ,  $P$  - объем чисел. Если же в качестве такой  $f(A)$  использовать тригонометрические ряды, то в пределах  $[0; P)$  можно с некоторой точностью получить на выходе ЦАП отображение практически любой однозначной функции. Рассмотрим в качестве частного случая линейную зависимость.

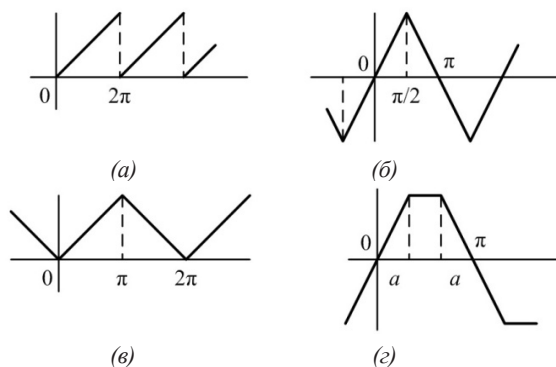


Рисунок 1 – Некоторые периодические функции с прямолинейными участками

Суммой кратных по частоте гармоник ряда Фурье позволяют синтезировать вид любых периодических функций, среди которых есть некоторое количество с продолжительными прямолинейными участками (рис. 1):

а)  $u(\phi) = \phi$ , при  $0 < \phi \leq 2\pi$ ,  
 $f(\phi) = \pi - 2 \left( \frac{\sin(\phi)}{1} + \frac{\sin(2\phi)}{2} + \frac{\sin(3\phi)}{3} + \dots \right)$ ;

б)  
 $u(\phi) = \begin{cases} 2\phi, & \text{при } 0 < \phi \leq \pi/2, \\ \pi - 2(\pi - \phi), & \text{при } \pi/2 < \phi \leq \pi, \\ -u(-\phi) = -u(\phi - \pi), \end{cases}$   
 $f(\phi) = \frac{8}{\pi^2} \left( \frac{\sin(\phi)}{1^2} - \frac{\sin(3\phi)}{3^2} + \frac{\sin(5\phi)}{5^2} + \dots \right)$ ;

в)  
 $u(\phi) = \begin{cases} \phi, & \text{при } 0 < \phi \leq \pi, \\ 2\pi - \phi, & \text{при } \pi < \phi \leq 2\pi, \end{cases}$   
 $f(\phi) = \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \left( \frac{\cos(\phi)}{1^2} - \frac{\cos(3\phi)}{3^2} + \frac{\cos(5\phi)}{5^2} + \dots \right)$ ;

г)  
 $u(\phi) = \begin{cases} \frac{1}{\phi}, & \text{при } 0 < \phi \leq a, \\ 1, & \text{при } a < \phi \leq \pi - a, \\ \frac{\pi - \phi}{a}, & \text{при } \pi - a < \phi \leq \pi, \\ -u(-\phi) = -u(\phi + \pi), \end{cases}$   
 $f(\phi) = \frac{4}{\pi a} \left( \frac{1}{1^2} \sin(a) \sin(\phi) - \frac{1}{3^2} \sin(3a) \sin(3\phi) + \dots \right)$ ,

где  $u(\phi)$  - исходная функция,  $af(\phi)$  - ее отображение рядом Фурье. Отрицательным элементом, присутствующим во всех формулах  $f(\phi)$ , является иррациональное число  $\pi$ , т.к. для электрической схемы конкретного ЦАП это приведет к необходимости подбирать параметры элементов в некоторой пропорции к  $\pi$ . С другой стороны, реализуемое устройство оперирует с заданной точностью, и поэтому после некоторого разряда в дробной части иррациональность числа  $\pi$  уже не будет оказывать влияния. Рассмотрим периодическую функцию с прямолинейными участками, которая отличается отсутствием обозначенной проблемы в пределах суммы первых членов:

$$f(\phi) = (1 + \sin(\phi) - \cos(\phi)) / 2. \quad (2)$$

Ранее в работах [13,14] за основу брался маленький начальный участок  $\sin(\varphi)$ , поэтому интересным является вопрос о том, насколько выражение (2) может увеличить относительную линейность преобразования хотя бы в пределах первой четверти периода.

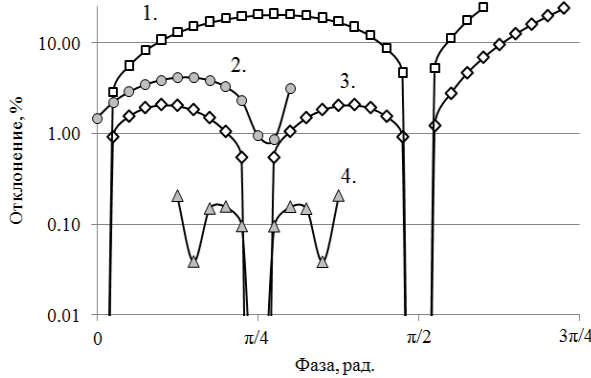


Рисунок 2 – Отклонение функции от линейной зависимости в процентах от полной шкалы: 1)  $\sin(\varphi)$  от  $2 \cdot \varphi / \pi$ ; 2)  $\sin(\varphi)$  от  $0.9071 \cdot \varphi + 0.0148$ ; 3)  $[1 + \sin(\varphi) - \cos(\varphi)] / 2$  от  $2 \cdot \varphi / \pi$ ; 4)  $[1 + \sin(\varphi) - \cos(\varphi)] / 2$  от  $0.6943 \cdot \varphi - 0.0453$

В пределах аргумента от 0 до  $\pi/2$  (рис. 2) представленные кривые дают увеличение точности на порядок при переходе к выражению (2) относительно прямой  $2 \cdot \varphi / \pi$ . За счет уменьшения диапазона подбирается более линейный участок, например, в пределах аргумента от  $\pi/8$  до  $3\pi/8$  кривая 4 показывает для (2) увеличение точности на порядок, но при этом потребуется крайне выверенная настройка элементов схемы, что следует из коэффициентов усиления по уровню 0.6943 и относительному смещению от максимальной величины на -0.0453.

В основу алгоритмов преобразования предлагается переход от цифрового представления вычетов к их пропорциональному кодированию фазами гармонических сигналов, с дальнейшей линейризацией через (2) итогового сигнала на детекторе. Рассмотрим, как для получения выражения (1) определяющая функция строится на основе элементов тригонометрического ряда (2) в виде  $f[\varphi(A)]$ , где число  $A$  представлено вычетами СОК.

**Результаты исследования.** Пусть задана система остаточных классов по  $n$  взаимно простым основаниям  $p_1, \dots, p_n$  с объемом чисел  $P = \prod_{j=1}^n p_j$ , тогда форма числа  $A$  в виде вычетов есть  $(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ . Процесс модулярного цифроаналогового преобразования аналогичен переходу к позиционному представлению:

$$A = \sum_{j=1}^n \frac{P}{p_j} \cdot \gamma_j \cdot \mu_j - r_A \cdot P, \quad (3)$$

где  $r_A$  - ранг числа  $A$  [2],  $\mu_j$  - вес ортогонального базиса, полученный из решения сравнения (4), для которого  $\mu = \mu_p, P' = P \text{ и } p = p_j$

$$\left( \mu \cdot \frac{P}{p} \right) \bmod p \equiv 1 \quad (4)$$

Наличие слагаемого  $r_A \cdot P$  является проблемой для устройств, оперирующих только уровнями электрических сигналов [12], но кодирование дискретными

фазами позволяет это обойти при условии, что объем чисел  $P$  отображается на весь период  $2\pi$ . Исходя из (3), получаем:

$$\varphi = \sum_{j=1}^n \frac{2\pi}{p_j} \cdot \gamma_j \cdot \mu_j - r_A \cdot 2\pi. \quad (5)$$

Таким образом, исходное выражение (2) как функция времени примет вид:

$$F(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin(\omega t + \sum_{j=1}^n \frac{2\pi}{p_j} \cdot \gamma_j \cdot \mu_j) - \frac{1}{2} \cos(\omega t + \sum_{j=1}^n \frac{2\pi}{p_j} \cdot \gamma_j \cdot \mu_j). \quad (6)$$

Реализация полученной формулы в приборном базисе потребует следующие компоненты (рис. 3, а): генератор тока тональной частоты ( $\Gamma$ ), управляемые фазовращатели ( $\PhiВ1-\PhiВn$ ), блоки памяти таблиц ( $T1-Tn$ ) для хранения коэффициентов  $\mu_j$ , умножители ( $\times$ ) и сумматоры ( $+$ ) фаз [16-18], фазовращатели на  $-\pi/2$ , а также итоговый детектор и сумматор мощности ( $D/\Sigma$ ). Непосредственное отображение значений вычетов в виде выходной аналоговой величины строится на последовательной работе описанных блоков в рамках электрической схемы. Вначале генератором задается гармоника СВЧ тока, над которой на каждом из фазовращателей  $\PhiВ1-\PhiВn$  осуществляется операция смещения фазы относительно опорной на  $2\pi \cdot \gamma_j / p_j$ .

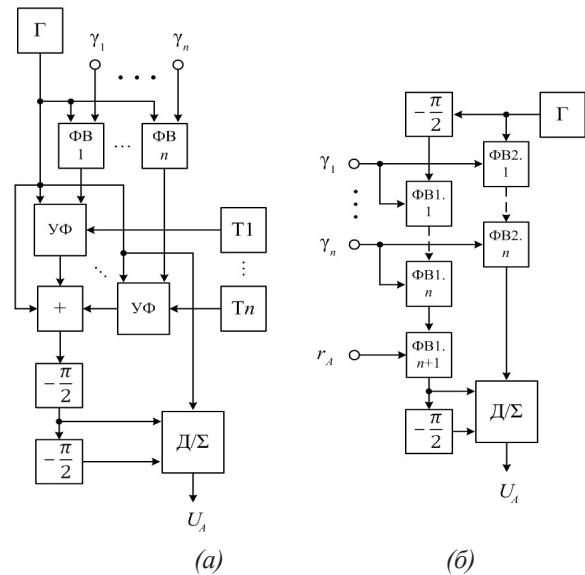


Рисунок 3 – Модулярные ЦАП с тональными трактами, на основе: а) непосредственного отображения, б) расширения системы счисления

После умножения на  $\mu_j$  и сложения происходит двукратное последовательное смещение на  $-\pi/2$ , при этом на вход блока  $D/\Sigma$  подаются три сигнала:  $\sin(\alpha - \pi/2)$ ,  $\sin(\alpha - \pi)$  и  $\sin(\beta)$ , где  $\alpha = \omega t + \varphi$ ,  $\beta = \omega t$ . В соответствии с известным тригонометрическим преобразованием и учетом низкочастотной фильтрации производится детектирование:

$$\sin(\alpha - \frac{\pi}{2}) \cdot \sin(\beta) \rightarrow \frac{1}{2} \cos(\varphi - \frac{\pi}{2}) = \frac{1}{2} \sin(\varphi), \quad (7)$$

$$\sin(\alpha - \pi) \cdot \sin(\beta) \rightarrow \frac{1}{2} \cos(\varphi - \pi) = -\frac{1}{2} \cos(\varphi). \quad (8)$$



После итогового сложения уровней формируется выходной аналоговый эквивалент входной цифровой величины в соответствии с (2).

Возможен и другой вариант получения (2) – через расширение исходной модулярной системы счисления. Реализуем элементы (2) как результат перемножения тональных гармоник с аргументами  $\alpha = \omega t + \varphi_\alpha$  и  $\beta = \omega t + \varphi_\beta$ , такими что:

$$\varphi = \varphi_\alpha - \varphi_\beta. \quad (9)$$

Соответственно  $\sin(\varphi)$  и  $-\cos(\varphi)$  после низкочастотной фильтрации возможно получить из выражений:

$$\sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \sin(\beta) \rightarrow \frac{1}{2} \cos\left(\varphi_\alpha - \varphi_\beta - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} \sin(\varphi), \quad (10)$$

$$\sin(\alpha - \pi) \cdot \sin(\beta) \rightarrow \frac{1}{2} \cos(\varphi_\alpha - \varphi_\beta - \pi) = -\frac{1}{2} \cos(\varphi). \quad (11)$$

Теперь рассмотрим процесс формирования аргумента  $\varphi$  через  $\varphi_\alpha$  и  $\varphi_\beta$ . Пусть дана СОК с нечетными взаимно простыми основаниями  $p_1, \dots, p_n$  и  $P^{(1)} = \prod_{j=1}^n p_j$  в которой значения вычетов числа  $A$  есть  $(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ .

Для выполнения (2) в наиболее продолжительной относительно линейной части - в пределах аргумента от 0 до  $\pi/2$  - предлагается сместить значение  $A$  в первую четверть объема чисел за счет расширения диапазона в четыре раза:  $P^{(2)} = 4 \cdot P^{(1)}$ , что достигается вводом дополнительного основания  $p_{n+1} = 4$ . Таким образом, необходимо решить задачу о нахождении вычета  $\gamma_{n+1}$  из исходных данных, и дальнейшем преобразовании числа  $A = (\gamma_1, \dots, \gamma_n, \gamma_{n+1})$  в фазу гармонического сигнала. Поскольку  $A$  определено располагается в первой четверти диапазона  $P^{(2)}$ , то вычет  $\gamma_{n+1}$  может быть найден по модулю  $p_{n+1}$  из позиционного представления, полученного на основе исходной СОК по основаниям  $p_1 \dots p_n$ :

$$\gamma_{n+1} = A \bmod p_{n+1} = (A \bmod p_{n+1} - (r_A \cdot P^{(1)}) \bmod p_{n+1}) \bmod p_{n+1}, \quad (12)$$

где  $r_A$  - ранг числа  $A$  в исходной СОК по основаниям  $p_1, \dots, p_n$ ,

$$A = \sum_{j=1}^n \frac{P^{(1)}}{p_j} \cdot \gamma_j \cdot \mu_j^{(1)},$$

$\mu_j^{(1)}$  - вес ортогонального базиса в исходной СОК, полученный из решения сравнения (4), в котором  $\mu = \mu_j^{(1)}$ ,  $P' = P^{(1)}$  и  $p = p_j$ .

Аргумент  $\varphi$  с учетом периодичности функции синус определяется выражением:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{2\pi}{p_i} \cdot (\gamma_i \cdot \mu_i^{(2)}) \bmod p_i, \quad (13)$$

где  $\mu_i^{(2)}$  - вес ортогонального базиса, полученный из решения сравнения (4), для которого  $\mu = \mu_i^{(2)}$ ,  $P' = P^{(2)}$  и  $p = p_i$ . Распишем (13) в согласии с (9) в виде  $\varphi_\alpha$  и  $\varphi_\beta$  с учетом (12), и с условием, что фазовращатели формируют отрицательный набег фазы:

$$\begin{cases} \varphi_\alpha = \sum_{j=1}^n \left( -\frac{2\pi}{p_{n+1}} \cdot T1_j(\gamma_j) \right) - \frac{2\pi}{p_{n+1}} \cdot T2(r_A), \\ \varphi_\beta = \sum_{j=1}^n \left( -\frac{2\pi}{p_j} \cdot T3_j(\gamma_j) \right), \end{cases} \quad (14)$$

где коэффициенты  $T1_j(\gamma_j)$ ,  $T2(r_A)$  и  $T3_j(\gamma_j)$ , вычисляемые табличным способом в самих фазовращателях

[14], есть:

$$\begin{cases} T1_j(\gamma_j) = p_{n+1} - \left( \frac{P^{(1)}}{p_j} \cdot \gamma_j \cdot \mu_j^{(1)} \cdot \mu_{n+1}^{(2)} \right) \bmod p_{n+1}, \\ T2(r_A) = (r_A \cdot P^{(1)} \cdot \mu_{n+1}^{(2)}) \bmod p_{n+1}, \\ T3_j(\gamma_j) = (\gamma_j \cdot \mu_j^{(2)}) \bmod p_j. \end{cases} \quad (15)$$

Таким образом реализуется аргумент  $\varphi$  и, соответственно, (2) через расширение исходной модулярной системы счисления.

Для формирования сигнала требуемого вида понадобится преобразователь, содержащий следующие компоненты (рис. 3, б): генератор тока тональной частоты ( $\Gamma$ ), две группы управляемых фазовращателей вычетов (ФВ1.1-ФВ1.н, ФВ2.1-ФВ2.н), а также фазовращатель для ранга числа  $A$  (ФВ1.н+1), фазовращатели на  $-\pi/2$ , а также итоговый детектор и сумматор мощности ( $\Delta/\Sigma$ ). Рассмотрим на примере работу такого ЦАП. Пусть дана СОК по трем ( $n=3$ ) нечетным взаимно простым основаниям 3, 5 и 7, в которой значения вычетов числа  $A$ , например  $37 = (1, 2, 2)$ , а также значение ранга  $r_A=1$ , подаются на входы устройства. Поскольку для исходной и расширенной СОК определены значения  $P^{(1)}=105$ ,  $P^{(2)}=4 \cdot 105=420$ ,  $\mu_1^{(1)}=2$ ,  $\mu_2^{(1)}=1$ ,  $\mu_3^{(1)}=1$ ,  $\mu_1^{(2)}=2$ ,  $\mu_2^{(2)}=4$ ,  $\mu_3^{(2)}=2$ ,  $\mu_4^{(2)}=1$ , то согласно (15) можно рассчитать числа  $T1_j(\gamma_j)$ ,  $T2(r_A)$  и  $T3_j(\gamma_j)$  в зависимости от вычетов и ранга:  $T1_1(1)=2$ ,  $T1_2(2)=2$ ,  $T1_3(2)=2$ ,  $T2(1)=1$ ,  $T3_1(1)=2$ ,  $T3_2(2)=3$ ,  $T3_3(2)=4$ .

Управляемые фазовращатели ФВ1.1-ФВ1.н+1 и ФВ2.1-ФВ2.н осуществляют формирование суммарного набег фазы гармонического сигнала от генератора, что математически соответствует вычислению  $\varphi_\alpha$  и  $\varphi_\beta$  согласно (14):

$$\begin{cases} \varphi_\alpha = -\frac{\pi}{2} \cdot 2 - \frac{\pi}{2} \cdot 2 - \frac{\pi}{2} \cdot 2 - \frac{\pi}{2} \cdot 1 = -2\pi - \frac{3\pi}{2}, \\ \varphi_\beta = -\frac{2\pi}{3} \cdot 2 - \frac{2\pi}{5} \cdot 3 - \frac{2\pi}{7} \cdot 4 = -2\pi - \frac{176\pi}{105}. \end{cases}$$

Далее перемножение сигналов на  $\Delta/\Sigma$  с применением низкочастотной фильтрации позволяет реализовать (10) и (11):

$$\frac{1}{2} \cos\left(-\frac{3\pi}{2} - \left(-\frac{176\pi}{105}\right) - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} \sin\left(\frac{37\pi}{210}\right) = \frac{1}{2} (0.52568),$$

$$\frac{1}{2} \cos\left(-\frac{3\pi}{2} - \left(-\frac{176\pi}{105}\right) - \pi\right) = -\frac{1}{2} \cos\left(\frac{37\pi}{210}\right) = -\frac{1}{2} (0.85068).$$

Сложение полученных величин с половиной от уровня амплитуды гармоники генератора реализует выражение (2):

$$f(\varphi) = (1 + 0.52568 - 0.85068) / 2 = 0.3375.$$

Для оценки точности преобразования сравним результат с идеальной величиной, полученной как деление числа  $A=37$  на объем СОК  $P^{(1)}=105$ :  $37/105=0.3524$ . Расхождение составляет 1.5%, что соответствует представленной на рисунке 2 кривой.

**Заключение.** Сравнивая оба варианта построения ЦАП, можно отметить наличие ограничений: в первом случае – возможности применения только четверти объема чисел, а во втором, – использования только нечетных оснований, чтобы не нарушать

условие взаимной простоты. Заявленная во введении проблема существования цифровой части может быть сразу решена отбрасыванием управляемых фазовращателей в способе непосредственного отображения. Расширение же системы счисления потребует замены управляемых фазовращателей на сумматоры фазы, а также дополнительных математических операций на основе представления чисел дискретными фазами [16-18]. Заложенное в рамках математической модели ограничение точности, реализуемое первыми членами тригонометрического ряда, показывает необходимость исследования более общего вида предложенной функции как основы модулярного цифроаналогового преобразования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дьяконов В. Сенсация 2015: Teledyne LeCroy освоила выпуск первого в мире 100-ГГц осциллографа реального времени! // Компоненты и технологии. – 2015. – №3. – С. 16–22.
2. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
3. Djath L., Bigoul K., Tisserand A. Hierarchical approach in RNS base extension for asymmetric cryptography // Proceedings of IEEE 26th Symposium on Computer Arithmetic, Kyoto, Japan, 10-12 June, 2019. pp. 46-53.
4. Gorodecky D., Villa T. Efficient implementation of modular division by input bit splitting // Proceedings of IEEE 26th Symposium on Computer Arithmetic, Kyoto, Japan, 10-12 June, 2019. pp. 54-60.
5. Абрамсон И.Т., Авров О.М., Ляпкин Л.Я. Кодирование электрических величин в системе остаточных классов // Автометрия. – 1975. – №2. – С. 23–29.
6. Кестер Уолт. Аналого-цифровое преобразование / Под ред. Уолта Кестера // Пер. с англ. М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.
7. Кожевников А.А. Аналого-цифровые преобразователи в системе остаточных классов // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2010. – №9. – С. 26-28.
8. Кожевников А.А., Беспалов К.П. Конвейерные аналого-цифровые преобразователи, функционирующие в системе остаточных классов // Динамика сложных систем – XXI век. – 2014. – №3. – С. 11–14.
9. Кожевников А.А. Математическое обследование конвейерных АЦП в системе остаточных классов // Вестник БГТУ. – 2017. – №7. – С. 27–34.
10. Кожевников А.А., Беспалов К.П. Методы непозиционного аналого-цифрового преобразования // Автометрия. – 2015. – №6. – С. 125–130.
11. Кожевников А.А. Синтез аналого-цифровых, первичных и вторичных модулярных измерительных преобразователей // Наука. Инновации. Технологии. – 2017. – №1. – С. 17–28.
12. Абрамсон И.Т., Ляпкин Л.Я., Носиков О.В. Принципы построения преобразователей информации, работающих в системе остаточных классов // Автометрия. – 1969. – № 2. – С. 3–10.
13. Овчаренко Л.А. Цифроаналоговый преобразователь кода системы остаточных классов контроллера управления динамическим объектом // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. – 2002. – №11. – С. 29–33.
14. Патент 2253943 РФ, МПК H03M1/66. Способ преобразования кода системы остаточных классов в напряжение / К.Л. Овчаренко. – Оpubл. 10.06.2005.
15. Сапельников В.М., Хакимов Р.А., Газизов А.А., Шабанов М.А. Функциональные цифроаналоговые преобразователи: принципы построения // Датчики и системы. – 2007. – №7. – С. 46–57.
16. Кожевников А.А. Мультифункциональные арифметические устройства в остаточных классах // Доклады ТУСУР. – 2018. – №4. – С. 59–62.
17. Кожевников А.А. Арифметические вентили модулярных спецпроцессоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2018. – №2. – С.46–51.
18. Кожевников А.А. Синтез тональных устройств для умножения по модулю // Вестник БГТУ. – 2019. – №3. – С. 65–70.

Статья поступила в редакцию 19.04.2021  
Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 004.021

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0014

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКА ЗАТОРОВ В ДОРОЖНОЙ СЕТИ

©2021

**Азарченков Андрей Анатольевич**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информатика и программное обеспечение»

**Марченков Николай Игоревич**, магистрант кафедры «Информатика и программное обеспечение»  
*Брянский государственный технический университет*  
(241902, Россия, пгт Белые Берега, улица Кирова, 18,  
e-mails: azarchenkovaa@yandex.ru, nikolai.marchenkov@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается математическая оценка риска заторов в дорожной сети на основе методов теории графов. Целью работы является анализ современных подходов к поиску маршрута с помощью автоматизированных систем и разработка математической модели, которая на выходе давала бы некоторую оценку риска дорожного затора, основанную на учете структурных особенностей дорожной сети и не требующую частого обновления данных об участках дорожной сети. Работы предложенной математической модели сопровождается наглядными примерами, подтверждающими ее практическую эффективность. Алгоритмы модели могут использоваться в задаче поиска оптимального маршрута в дорожной сети между разными парами узлов. Оцениваются преимущества и перспективы совершенствования полученной математической модели.

**Ключевые слова:** граф дорожной сети, дорожный затор, поток транспорта, поиск оптимального маршрута.

## MATHEMATICAL ESTIMATION OF TRAFFIC CONGESTIONS RISKS IN ROAD NETWORK

©2021

**Azarchenkov Andrey Anatolyevich**, candidate of Technical Sciences,  
associate Professor of the Department of Computer Science and Software»

**Marchenkov Nikolay Igorevich**, master's student of the Department of Computer Science and Software»  
*Bryansk State Technical University*

(241902, Russia, Belye Berega, Kirova st., 18, e-mails: azarchenkovaa@yandex.ru, nikolai.marchenkov@mail.ru)

**Abstract.** The article is devoted to mathematical estimation of traffic congestions risks in road network, based on graph theory methods. The aim of the work is to analyze modern approaches to route search using automated systems and to develop a mathematical model that would give a certain assessment of the risk of traffic congestion, based on the structural features of the road network and does not require frequent updating of data on road network sections. The work of the proposed mathematical model is accompanied by visual examples that confirm its practical effectiveness. The model algorithms can be used in the task of finding the optimal route in the road network between different pairs of nodes. The advantages and prospects of improving the obtained mathematical model are evaluated.

**Keywords:** road network graph, traffic congestion, transport stream, optimal route search.

**Введение.** Заторы на городских дорогах являются актуальной проблемой крупных городов России. Так по данным аналитической компании *INRIX* в 2017г. Каждый водитель в Москве за год стоял в пробках 91 час или примерно четверть общего времени, проведенного за рулем. Также ряд других российских городов вошел в 50 городов мира с наибольшим временем простоя в пробках – Магнитогорск (73 часа), Краснодар (57 часов), Санкт-Петербург (54 часа), Новосибирск (52 часа), Екатеринбург (51 час) и некоторые другие [1]. Заторы несут множество негативных последствий для общества, организаций и лично водителей и пассажиров. Если был выбран маршрут, на котором возник длительный затор, водитель и пассажиры испытывают стресс, увеличивается расход топлива автомобиля, автомобиль быстрее изнашивается, ухудшается экологическая обстановка. Ввиду опозданий сотрудников, а также замедления движения транспорта, находящегося в распоряжении организаций, перемищающегося в нуждах этих организаций, последние несут ущерб [2].

В настоящее время актуальной является задача поиска маршрутов с помощью автоматизированных си-

стем. При этом целесообразно выбирать маршрут так, чтобы учитывать риски заторов: маршрут, чреватый заторами, может быть объективно хуже более длинных (или уступающих по иным критериям) маршрутов, где заторы возникают редко. Решение этой задачи требует разработки математической модели для оценки риска заторов в узлах дорожной сети и является целью данной работы.

**Материалы и результаты исследования.** Подходы к оценке риска заторов на дорогах. Достаточно распространенный на сегодня подход к оценке риска заторов на дорогах основывается на доступе к сервисам, предоставляющим данные о заторах, например, Яндекс.Пробки. Однако реализация этого подхода на практике сталкивается с существенными проблемами, основные из них:

1) требуется доступ пользователя к этим данным, что не всегда возможно в пути;

2) данные могут резко меняться. Например, пользователь принимает решение о выборе маршрута, но по мере продвижения по этому маршруту сталкивается с тем, что на некоторых участках успели возникнуть заторы;

3) данные не всегда поставляются оперативно самими сервисам. Иногда в пробках сильно падает качество связи, в результате чего автомобилисты, желающие отправить некоторому Интернет-сервису данные о пробке, отправляют сведения, лишь миновав эти пробку;

4) при использовании систем, прокладывающих оптимальные маршруты, остается проблема интерпретации балла, присвоенного затору: балл требуется как-то учесть при построении маршрута.

Альтернативный подход заключается в оценке риска заторов на основе более постоянных данных – структуре дорожной сети и информации о популярности различных участков дорожной сети. Проще говоря, если структура дорожной сети такова, что в некоторых ее точках входящий поток превосходит пропускную способность дорожной сети, то имеется существенный риск затора, как например, в случае участков сужения дороги. Также проблемой могут оказаться и некоторые другие структурные особенности дорожной сети – слияния нескольких участков в одной точке, места изменения характеристик дорог и т.д. [3]. Наконец, проблемой могут быть участки дорожной сети и отдельные подсети с высокой оживленностью движения, например, центральные кварталы городов и дороги около очень востребованных учреждений. Не случайно в некоторых случаях в европейских городах власти прибегают к искусственным мерам по сдерживанию проблемы заторов в подобных местах. В Лондоне с 2003 г. был введен платный въезд в центр города. Платная зона, в которую вошли улицы исторического центра города, включает несколько районов: Сити, Вест-Энд, Вестминстер и Сохо. В Риме введено ограничение доступа автомобилей в центр города с 1994 г. [4].

Именно этот подход на основе априорной оценки рисков заторов положен в основу предлагаемой в данной статье математической модели. Рассматриваемый подход имеет такое преимущество, как возможность с

высокой вероятностью определить «узкие» места дорожной сети без обновления данных о дорожной сети в режиме реального времени.

Заметим, что в различных исследованиях уже уделялось внимание вопросу оценки рисков заторов на основе структурных особенностей и других априорных данных о дорожной сети. Так, К. Даганзо в качестве причин заторов называет сужения и расширения дороги [5], слияния нескольких участков в одной точке, искривления дороги. Например, если есть несколько интенсивных потоков, сходящихся в одном узле, то может формироваться очередь, причем как по одному, так и по нескольким подъездам к слиянию [6, 7]. Однако заторы могут возникать и вне сужений, расширений и слияний дорог, что требуется учитывать при оценке рисков заторов в дорожной сети.

Л.А. Бигаева и А.А. Смирнов в [8] рассматривают модель процесса возникновения заторов на дорогах и факторы, способствующие их возникновению. В модели учитываются такие важные факторы, как протяженность участка дороги, его пропускная способность, ширина, однако, к сожалению, игнорируется такой фактор, как популярность участка дороги. Наконец, участок дороги рассматривается изолированно от других участков, т.е. никак не учитывается ситуация, что это может быть один из участков, сходящихся в одном и том же узле.

*Исходные данные.* Для оценки рисков заторов в дорожной сети требуются данные о самой дорожной сети. В нашем случае будем представлять городскую дорожную сеть в виде ориентированного графа, пример такого графа представлен на рисунке 1. В качестве вершин графа выступают перекрестки, повороты, выезды, тупики, точки смены свойств участка дороги, а в качестве дуг – участки дороги, соответствующие возможности движения по прямой в одну сторону при неизменных дорожных условиях. Преимущества такого принципа и вопросы кодирования дорожных сетей графами обсуждалось в [9-11].

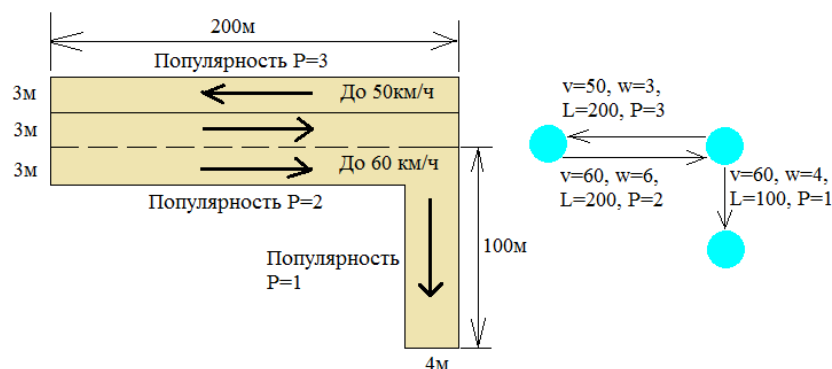


Рисунок 1 – Кодирование дорожной сети в виде графа

На рисунке 1 каждой дуге графа соответствуют некоторая разрешенная (или фактически возможная) скорость движения  $v$ , ширина участка  $w$  (суммарная ширина полос в соответствующую сторону), длина участка  $L$  и значение популярности  $P$ . Для последнего можно либо установить одно из значений от 0 до  $P_{max}$ , где  $P_{max} + 1$  – число выбранных нами градаций попу-

лярности, либо основываться на эмпирических данных – например, сколько в среднем автомобилей проходит в будний день в светлое время суток по данному участку. В последнем случае можно взять  $P_{max} = 1$ , а значение популярности задать как отношение измеренного показателя к показателю для самого оживленного в сети участка. Если движение между двумя



узлами осуществляется в обе стороны, узлы будут соединяться двумя дугами, их свойства в общем случае могут быть неодинаковыми – например, движению в разные стороны соответствуют разные разрешенные скорости. Сам граф дорожной сети и свойства дуг  $w$ ,  $v$ ,  $L$  отвечают за структуру и свойства дорожной сети, а показатель  $P$  – за фактическую востребованность участков дорожной сети.

**Методика оценки риска заторов в узлах дорожной сети.** Предлагаемая методика приводит в соответствие численную оценку риска возникновения регулярных заторов каждому узлу графа дорожной сети и ориентирована на оценку рисков заторов на основе структурных особенностей дорожной сети (и, соответственно, ее графа) и постоянных данных об участках дорожной сети.

**Шаг 1.** Введем для каждого узла (вершины) графа дорожной сети величину, которую далее будем называть связанным потоком, а для каждой дуги графа – величину, далее называемую потоком дуги. Последнюю величину определим следующим образом:

$$P_{\text{дуги}} = wvL^2 \quad (1)$$

Квадрат длины  $L$  берется, чтобы подчеркнуть ее особое влияние на число автомобилей, которое может собраться на участке, образовав плотный поток. Это связано с тем, что по сторонам от такого участка может располагаться в среднем больше объектов типа популярных торговых центров, учреждений и т.д., чем для более коротких участков. Яркий обратный пример – кварталы частных секторов – здесь узлы будут расположены достаточно близко друг от друга, т.е. дуги будут короткие, и здесь же будет мало объектов, способных привлечь большое число автомобилистов. Если участок дороги широкий и допустимая скорость движения достаточно высока, возрастает вероятность того, что участок будет собирать большое число автомобилей одновременно.

Связанный поток для каждой вершины вычисляем следующим образом:

$$P_{\text{верши}} = P_{\text{вход}} \cdot n^a \cdot f_{\text{ноп}} - P_{\text{исх}} \cdot m^b \quad (2)$$

$$f_{\text{ноп}} = \frac{2P_{\text{сред}}}{P_{\text{max}}} \quad (3)$$

Здесь  $P_{\text{вход}}$  – значение суммарного потока для дуг, входящих в вершину,  $P_{\text{исх}}$  – значение суммарного потока для дуг, исходящих из вершины. Потоки для отдельных дуг вычисляются по формуле (1). В формуле (2)  $n$  – число дуг, входящих в вершину,  $m$  – число дуг, исходящих из вершины. Множители вида  $n^a, m^b$  нужны, чтобы показать нелинейность такого процесса, как скопление автомобилей близ узла. Например, два одинаковых потока двух входящих дуг неравнозначны удвоенному потоку одной входящей дуги. Около вершины решения водителей, находящихся на разных дугах, могут отчасти влиять друг на друга. Так, водители могут мешать друг другу ввиду возможной низкой культуры вождения. Напротив, некоторые водители могут замедляться из соображений осторожности. Как показал практический анализ графов, моделирующих дорожную сеть части кварталов города Брянска [10],

хорошим выбором является  $a=b=1/3$ . Множитель, вводимый по формуле (3), ухудшает оценку связанного потока в случае высокой популярности входящих дуг – чем выше значение (2), тем более «проблемным» считается узел с позиции рисков возникновения регулярных заторов. Числитель в (3) означает удвоенную среднюю популярность входящих в узел дуг. Если пределы показателя популярности участков дорог установить от 0 (автомобили почти не проезжают) до  $P_{\text{max}}$  (популярный участок дороги), то  $P_{\text{сред}}$  получается усреднением показателей популярности входящих дуг. Первый член правой части (2) представляет собой, по сути, потенциал входящих дуг по накоплению потока автомобилей, второй член – фактические возможности исходящих дуг по распределению потока автомобилей. Обратим внимание на слово «потенциал»: именно поэтому для входящих дуг нужны значения популярности, а для исходящих дуг – нет.

Рассмотрим простой пример расчета и интерпретации связанного потока. На рисунке 2 представлен фрагмент дорожной сети. Требуется рассчитать связанный поток для вершины, помеченной вопросом, и интерпретировать результаты расчета. При этом принято  $P_{\text{max}} = 5$ , т.е. предполагается 6 градаций популярности: 0 (автомобили почти не проезжают), 1 (автомобили проезжают редко), 2 (несколько реже среднего, если сравнивать с другими участками дорожной сети), 3 (средне), 4 (чаще среднего), 5 (очень популярный участок дороги). Под шириной, например, 2 м для дуг на рисунке 2 понимается суммарная ширина полос, соответствующих дугам.

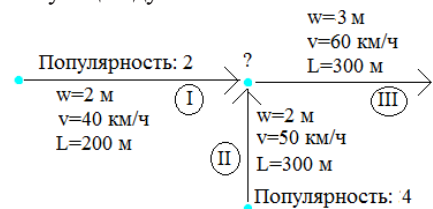


Рисунок 2 – Фрагмент дорожной сети

Рассчитаем потоки дуг по формуле (1)

$$P_I = 2 \cdot 40 \cdot 200^2 = 3,2 \cdot 10^6; P_{II} = 2 \cdot 50 \cdot 300^2 = 9 \cdot 10^6$$

И суммарный поток:

$$P_{\text{вход}} = P_I + P_{II} = 3,2 \cdot 10^6 + 9 \cdot 10^6 = 11,2 \cdot 10^6$$

Определение исходящего потока сводится к расчёту потока для дуги с меткой III:

$$P_{\text{исх}} = P_{III} = 3 \cdot 60 \cdot 300^2 = 16,2 \cdot 10^6$$

Значение суммарного потока для входящих в вершину дуг меньше, чем для исходящей дуги. Однако, формулы (2) и (3) учитывают тот факт, что на практике нельзя сводить анализ риска заторов только к сумме потоков дуг.

По формуле (3) рассчитываем множитель, отвечающий за популярность участков дорог входящих дуг:

$$P_{\text{сред}} = \frac{2+4}{2} = 3, f_{\text{ноп}} = \frac{2P_{\text{сред}}}{P_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 3}{5} = 1,2;$$

Интерпретация полученных значений  $P_{\text{сред}}$  и  $f_{\text{ноп}}$ : в среднем участки, ведущие к анализируемой вершине, достаточно популярны, что повышает риск возникновения заторов близ этой вершины.

При  $a=b=1/3$ , в силу  $n=2, m=1$ , с помощью выражения (2) получим

$$\Pi_{\text{верши}} = \Pi_{\text{вход}} \cdot n^{1/3} \cdot f_{\text{нон}} - \Pi_{\text{исх}} \cdot m^{1/3} = 11,2 \cdot 10^6 \cdot \sqrt[3]{2} \cdot 1,2 - 16,2 \cdot 10^6 \approx 2,2 \cdot 10^6 > 0$$

Заметим, что  $\Pi_{\text{верши}} > 0$  означает негативную характеристику вершины, обозначенной знаком вопроса на рисунке 1 – близ нее достаточно высокий риск заторов. Это в данном случае обусловлено рядом факторов. В среднем популярность входящих участков достаточно высока, что будет играть негативную роль в часы пик. Кроме того, водители, находящиеся на двух входящих участках, могут мешать друг другу в те моменты, когда одновременно свободен проезд к вершине с двух сторон (т.е. он не ограничен красным сигналом светофора).

В другом примере (рис. 3), на первый взгляд кажется, что в вершине с меткой вопроса будут постепенно скапливаться автомобили – любая из дуг II, III сама по себе в пределе может пропустить меньше автомобилей, чем дуга I. Покажем, что это не так, по формулам (1) – (3).

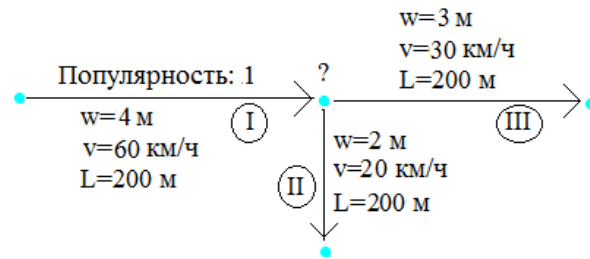


Рисунок 3 – Данные для примера расчета связанного потока

Входящий и исходящий потоки:

$$\Pi_{\text{вход}} = \Pi_I = 4 \cdot 60 \cdot 200^2 = 9,6 \cdot 10^6;$$

$$\Pi_{\text{исх}} = \Pi_{II} + \Pi_{III} = 2 \cdot 20 \cdot 200^2 + 3 \cdot 30 \cdot 200^2 = 5,2 \cdot 10^6$$

Имеем  $n=1, m=2, f_{\text{нон}} = 2P_I/P_{\text{max}}$ : в (3) качестве средней популярности входящих дуг здесь популярность единственной входящей. Тогда, согласно формуле (2)

$$\Pi_{\text{верши}} = 9,6 \cdot 10^6 \cdot 0,4 - 5,2 \cdot 10^6 \cdot \sqrt[3]{2} \approx -2,7 \cdot 10^6 < 0.$$

Если при появлении автомобиля в оцениваемой вершине он может выбрать любую из дуг II, III, то риск регулярных заторов, скорее всего, окажется низким. В совокупности участки II, III поглощают поток входящего участка I, особенно с учетом низкой популярности последнего. Этот пример демонстрирует важность учета не только потенциальных возможностей, но и фактической популярности участков дорог. Заметим также следующее – если в 1,5 ...  $\Pi_{\text{max}}, \Pi_{\text{min}}$  2 раза увеличить длину дуги I на рисунке 3 или сделать дугу вдвое популярнее, получим  $\Pi_{\text{верши}} > 0$ . В первом случае это связано с тем, что участок потенциально сможет собирать столько автомобилей, что участки II и III даже в совокупности не смогут поглотить входящий в оцениваемую вершину поток.

Само по себе значение  $\Pi_{\text{верши}}$  малоинформативно, хотя и ясно, что чем оно выше, тем выше риск заторов в вершине, и наибольшего внимания требуют вершины с  $\Pi_{\text{верши}} > 0$ . Требуются преобразования, дающие более информативные показатели для вершин. Кроме

того, они требуются и в силу необходимости установления единой шкалы, теоретический порядок величины  $\Pi_{\text{верши}}$  может быть любым.

**Шаг 2.** Выполняется нормировка вида

$$Z_i = \frac{\Pi_{\text{верши},i} - \Pi_{\text{min}}}{\Pi_{\text{max}} - \Pi_{\text{min}}} \quad (4)$$

В формуле (4)  $\Pi_{\text{верши},i}$  – связанный поток  $i$ -ой вершины,  $\Pi_{\text{min}}$  – минимальный из связанных потоков вершин графа дорожной сети,  $\Pi_{\text{max}}$  – максимальный из связанных потоков вершин графа дорожной сети. Показатели  $\Pi_{\text{min}}, \Pi_{\text{max}}$  определяются по значению, а не по абсолютной величине: как мы показали выше, знак связанного потока существенен. Из выражения (4) следует, что  $0 \leq Z_i \leq 1$ . При этом  $Z$  – более информативный показатель, чем  $\Pi_{\text{верши}}$ , поскольку учитывает, насколько высоки риски заторов близ вершины на фоне других вершин графа дорожной сети. Концептуальная установка состоит в том, что интерес представляет то, какие вершины относительно мало проблематичны, а какие наиболее проблематичны в контексте заданной сети дорог. Проводя простую аналогию, можно сказать, что если надо проложить маршрут по кварталам Брянска, то для водителя не представляет интереса, сколь велики риски заторов в различных местах дорожной сети Москвы.

Приведем пример, исходные данные для которого даны на рисунке 4 слева. Проанализировав все значения  $\Pi_{\text{верши}}$ , получим  $\Pi_{\text{min}} = -10, \Pi_{\text{max}} = 5$ . Тогда, например, для вершины 1, согласно (4), получим  $Z_1 = (2 - (-10)) / (5 - (-10)) = 0,8$ . Заметим, что показатели правого графа на рисунке 4 более информативны, чем графа слева. Факт, что для 1-ой вершины имеем  $\Pi_{\text{верши}} = 2$ , малоинформативен ввиду того, что величина  $\Pi_{\text{верши}}$  теоретически не имеет верхней границы. Этот показатель для 1-ой вершины становится более информативным, если сравнивать его с  $\Pi_{\text{верши}}$  для других вершин. Однако такое сравнение не всегда оправдано, если вершин много (а в реальных графах дорожных сетей их могут быть сотни).

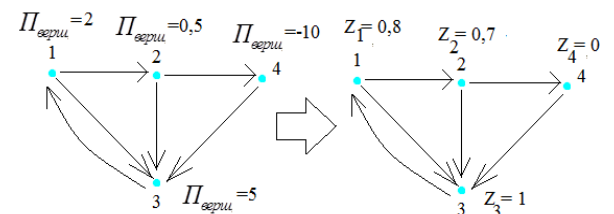


Рисунок 4 – Пример выполнения шага 2

Значение  $Z_1 = 0,8$  говорит о том, что на фоне других вершин конкретной дорожной сети, вершина 1 довольно проблематична с точки зрения риска заторов. Через вершину 3 и вовсе лучше не проезжать, если есть возможность проложить маршрут в ее обход, о чем бы мы с такой очевидностью не сказали, глядя на ее значение  $\Pi_{\text{верши}}$ , особенно если бы в примере было

много вершин.

**Шаг 3.** Важно учесть, что проблемы, связанные с заторами в одной из вершин, должны ухудшать оценку ситуации и в близлежащих вершинах. Особенно это касается случаев, когда в вершину можно непосредственно попасть только с другой вершины, неблагоприятной с точки зрения  $Z$ -оценки. Напротив, информация, что в вершину  $N$  можно попасть только с других вершин, имеющих низкую  $Z$ -оценку, должна делать более оптимистичной оценку самой  $N$ , нежели по результатам шага 2. Подобная ситуация будет означать, что если уровень риска заторов по результатам шага 2 для  $N$  высокий, вполне вероятно, что риск переоценён. Исходя из сказанного, требуются корректировки оценок риска заторов для каждой вершины  $N$  с учетом  $Z$ -оценок как минимум на множестве вершин, из которых можно попасть в  $N$ , а также популярностей дуг, по которым можно попасть в  $N$ . На шаге 3 для каждой вершины считаем оценку

$$Y_i = AZ_i + BM_i \quad (5)$$

Здесь значения весовых коэффициентов  $A, B$  должны располагаться в интервале  $(0; 1)$  и удовлетворять свойству  $A+B=1$ , т.е. формула (5) отдаленно напоминает оператор аддитивной свертки [12] при принятии решений с 2 критериями. Компонент  $M_i$  учитывает, из каких вершин и по дугам какого уровня популярности можно попасть в анализируемую вершину. Если в вершину входят дуги с  $Z$ -значениями исходных вершин  $Z_{i1}, \dots, Z_{in}$ , а популярности дуг равны  $P_{i1}, \dots, P_{in}$ , то

$$M_i = \sum_{j=1}^n \frac{P_{ij}}{P_{i,c}} Z_{ij}, \quad P_{i,c} = P_{i1} + \dots + P_{in} \quad (6)$$

В (6) величина  $P_{i,c}$  – сумма популярностей дуг, входящих в анализируемую вершину. Множитель  $P_{ij}/P_{i,c}$  отображает то обстоятельство, что чем популярнее входящая дуга  $e$ , тем сильнее на ситуацию в анализируемой вершине влияет ситуация в вершине  $s$ , из которой исходит  $e$ .

Если входящие в некоторую вершину дуги – это только дуги с популярностью 0, т.е. в (6) имеем  $P_{i,c}=0$ , то полагаем  $M_i=0$ . Тогда формула (5) вырождается в  $Y_i = AZ_i$ . Поскольку  $A < 1$ , на шаге 3 оценка риска заторов близ анализируемой вершины становится ниже, чем после шага 2, что логично: если пути, ведущие к узлу, почти не востребованы, то оценка риска заторов для узла должна быть оптимистичной. Ситуация  $P_{i,c}=0$  в теории маловероятная, но возможная – например, на малонаселенной окраине города.

Смысл весовых коэффициентов  $A, B$  в (5) – приоритеты  $Z$ -оценки самой вершины и учета ее окружения соответственно. Учет того, из каких вершин и по дугам какого уровня популярности можно попасть в анализируемую вершину, способно привести к существенному различию  $Y$ - и  $Z$ -оценок вершин, кроме двух случаев, когда либо взято значение  $B$ , близкое к 0, либо когда  $Z$ -оценки вершин из окружения анализируемой вершины близки к  $Z$ -оценкам самой же вершины.

Как показал практический анализ графов, модели-

рующих дорожную сеть части кварталов города Брянска [10], хорошим выбором  $A, B$  для (5) является  $A=0,4$  и  $B=0,6$ , т.е. (5) принимает вид

$$Y_i = \frac{2Z_i + 3M_i}{5} \quad (7)$$

Рассмотрим пример расчета и интерпретации  $Y$ -значения. На рисунке 5 представлен фрагмент дорожной сети и значимые для шага 3 исходные данные.

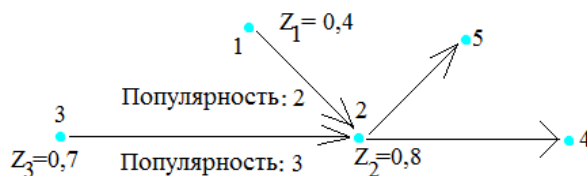


Рисунок 5 – Данные для примера выполнения шага 3

В нашем случае популярности дуг, входящих в анализируемую вершину, составляют  $P_1=2, P_3=3$ , их сумма равна  $P_{2,c}=P_1+P_3=2+3=5$ . Соответственно, формула (6) дает:

$$\frac{P_1}{P_{2,c}} = \frac{2}{5} = 0,4; \quad \frac{P_3}{P_{2,c}} = \frac{3}{5} = 0,6; \quad M_2 = 0,4 \cdot 0,4 + 0,6 \cdot 0,7 = 0,58$$

По формуле (7) находим, что

$$Y_2 = \frac{2Z_2 + 3M_2}{5} = \frac{2 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,58}{5} = 0,668.$$

Обратим внимание на то, что  $Y_2 < Z_2$ , и различие между ними существенное. Это можно объяснить тем, что, если риски заторов в вершинах, из которых можно попасть в анализируемую вершину, относительно невелики (а данном случае  $Z_1 < Z_2, Z_3 < Z_2$ ), это должно снижать оценку риска заторов для анализируемой вершины.

Отметим преимущество  $Y$ -оценки перед  $Z$ -оценкой, оно заключается в исключении возможности не объективной постановки «крайних» оценок, близких к 0 или 1. Такие оценки должны ставиться с учетом как можно большего числа факторов и только при веском основании. Поэтому  $Y$ -оценки вершин принимаются как наиболее приемлемые для рассмотренной методики.

**Использование методики для решения задачи об оптимальном пути.** Важное практическое приложение оценки рисков заторов в дорожной сети связано с поиском оптимального маршрута движения транспортного средства из одной заданной точки в другую. Простейшая постановка задачи – просто найти кратчайший путь, однако развитые системы логистики, как например, Яндекс.Маршрутизация [13] или система компании NetSuite [14], используют сложные многокритериальные системы оценки качества маршрутов, в том числе учитывающие риски заторов.

Самый простой способ использовать предложенную методику в задаче об оптимальном пути – не рассматривать маршруты, где есть хотя бы одна вершина с  $Y$ -оценкой выше заданной величины. Это реализуется алгоритмически, но следует помнить – если наличие одной вершины с пессимистичной  $Y$ -оценкой является единственным недостатком маршрута, то можно отсечь даже оптимальный маршрут. Особо это касается случая, когда множество доступных маршру-



тов между двумя точками невелико. Более осторожный подход – исключить путь из рассмотрения, если  $K$  последовательных вершин пути ( $K \geq 2$  и выбирается заранее) дают среднюю  $Y$ -оценку выше допустимой оценки  $Y_{\text{границы}}$ . При этом не нужно рассматривать сами концы пути, поскольку по условию задачи они не выбираются.

Рассмотрим показанный на рисунке 6 фрагмент дорожной сети в случае  $K=2$ ,  $Y_{\text{границы}}=0,8$ . Поскольку  $(Y_C+Y_E)/2=(0,75+0,91)/2=0,83$ , пути, начинающиеся с подпути  $A-C-E$ , исключаем из рассмотрения. Очевидно, что  $(Y_C+Y_D)/2 < 0,8$ ;  $(Y_D+Y_F)/2 < 0,8$ , поэтому путь  $A-C-D-F-B$  является допустимым с точки зрения риска заторов. Может возникнуть вопрос, почему не следует рассматривать среднюю  $Y$ -оценку всех промежуточных вершин пути. Дело в том, что, во-первых, она мало информативна, поскольку не отвечает на вопрос, есть ли стоящие близко друг от друга «проблемные» вершины и, во-вторых, она не позволяет отсеять сразу множество неперспективных путей, а не один путь. Касательно первого пункта, если «проблемные» вершины собрались в ряд, образующий цепь в графе дорожной сети, это гораздо хуже, чем если бы они рассредоточились по большому пути: в первом случае риск крупного затора в часы пик крайне высокий, во втором случае более вероятно, что будет один или несколько небольших заторов – в какой мере повезет водителю. Значение  $K$  следует выбирать не более 5...7, в противном случае невозможно эффективное отсеечение неприемлемых с точки зрения заторов путей.

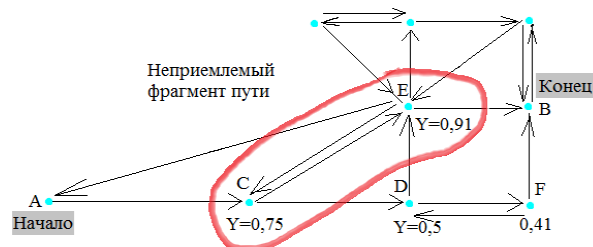


Рисунок 6 – Оценка рисков заторов и поиск оптимального маршрута

Пытаясь при поиске наилучшего маршрута отсеять часть маршрутов с позиций рисков заторов, следует учесть, что целесообразным может оказаться вариант с поиском в две фазы, на первой из которых ведется поиск с жесткими требованиями к минимизации риска заторов, а при неуспехе первой, на второй фазе требования смягчаются. Дело в том, что одна из главных причин заторов в городах – ситуации, когда у автомобилистов мало вариантов добраться до важных мест. В современных российских городах серьезной проблемой является нехватка дорог, например, Москва больше по площади, чем Токио, однако дорог по протяженности в Токио в 7 раз больше [15]. Естественно, когда выбор невелик, придется довольствоваться маршрутом, чреватый заторами, поскольку нет выбора. Другое дело, что при запуске алгоритма построения маршрута об этой ситуации заранее не известно.

**Заключение.** Разработана простая в реализации методика численной оценки рисков затора в узлах дорожной сети, учитывающая как структурные особенности дорожной сети, так и фактические данные о популярности участков дорожной сети, не требующая актуализации данных о ситуации на дорогах. Результаты численного расчета могут использоваться для оптимизации маршрута в дорожной сети, причем реализующий методику алгоритм не требует перезапуска, если дорожная сеть остается неизменной, даже в случае прокладки маршрутов между разными парами узлов.

В дальнейшем планируется усовершенствовать методику и разработать алгоритм, учитывающий как дополнительный фактор расположение светофоров и такие факторы как наличие кольцевых и других развязок, состояние дорожного покрытия, количество полос для движения в одну сторону. Особого внимания заслуживает прогнозирование заторов близ кольцевых участков, возникающих практически в любом крупном городе.

Наконец, важно развивать исследования по вопросу комбинирования подходов к оценке риска заторов на дорогах. Рассмотренный подход к оценке риска заторов может использоваться в комбинации с существующими методами, основанными на данных, получаемых в реальном времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. По итогам 2017 года Москва по пробкам стала второй в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://mosday.ru/news/item.php?1337861&view=full> (дата обращения 10.05.2021).
2. Кадыров А.С., Токашева Н.С. Анализ и предложения по проблеме устранения автомобильных пробок (дорожных заторов) // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – №3-2. – С. 69-72.
3. Владимиров С.Н. Транспортные заторы в условиях мегаполиса // Известия МГТУ МАМИ. – 2014. – №1. – С. 77-84.
4. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков // Изд-во МФТИ. – 2010. – С. 363.
5. Daganzo C.F. Remarks on Traffic Flow Modeling and its Applications // Dept. of Civil and Environmental Engineering University of California, Berkeley.
6. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / Ин-т прикладной математики им. М. В. Келдыша Рос. Акад. наук, 2004. – 44 с.
7. Chandler R.E. et al. Traffic dynamics: Studies in car following // Operations Research. – 1958. – Vol. 6. – P. 165-185
8. Смирнов А.А., Бигаева Л.А. Моделирование процесса образования затора на дороге // Материалы 9-ой конференции «ИКТ в образовании и науке». – 2020. – С. 251-256.
9. Азарченков, А.А. Моделирование оценки качества маршрутов в задачах оптимизации движения по городу / А.А. Азарченков, Н.И. Марченков // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2020. – № 3(9). – С. 56 – 64.
10. Марченков Н.И., Азарченков А.А. Математическое моделирование оценки качества маршрутов в городской дорожной сети // Высокие технологии и инновации в науке. Сборник избранных статей Международной научной конференции. – 2020. – С. 211-217.
11. Марченков Н.И. Сравнение методов кодирования сети дорог графами // Российская наука: тенденции и возможности. – 2018. – С. 143-146.
12. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений // СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
13. Яндекс.Маршрутизация [Электронный ресурс]. – Ре-



жим доступа: URL <https://yandex.ru/routing/> (дата обращения 10.05.2021).

14. NetSuite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://www.netsuite.com/portal/home.shtml> (дата обращения 10.05.2021).

15. Восемь способов победить пробки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://www.zr.ru/content/articles/907199-8-sposobov-pobedit-dorozhnye-z/> (дата обращения 10.05.2021).

16. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков // М.: Мир, 1966. – 286 с.

17. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // «Автоматика и телемеханика». – 2003. – №11. – С. 3-46.

*Статья поступила в редакцию 21.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 532.5, 533.2

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0015

**АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ  
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

©2021

**Тукмаков Дмитрий Алексеевич**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник  
*Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»*,  
(420100, Россия, г. Казань, ул. Лобачевского, д.2/31, email: tukmakovda@imm.knc.ru)

**Аннотация.** В статье приведен краткий обзор работ по исследованиям механических и физических процессов в дисперсных средах. Представлены основные модели движения неоднородных сред, как многофазных сред, компоненты которых имеют различное агрегатное состояние, так и однородных смесей, компоненты которых имеют одинаковый фазовый состав. Рассмотрены отличия математических моделей, описывающих течения различных типов неоднородных сред, также обсуждаются основные концепции разработки математических моделей динамики неоднородных сред. В статье анализируются результаты, полученные как линеаризованными моделями, допускающими аналитическое решение, так и нелинейными моделями, интегрируемыми численными алгоритмами. В работе рассматривались вопросы динамики газозвесей – многофазных смесей, дисперсная компонента которых не имеет существенно большей массы, чем масса несущей среды. Также приведены исследования динамики порошковых сред, смесей в которых массовая доля дисперсной компоненты существенно превосходит массовую долю газа. Представлены работы, посвященные теоретическим исследованиям фундаментальных основ динамики дисперсных течений, а также результаты исследований направленных на получение прикладных результатов в различных отраслях промышленности. Было выявлено, что в зависимости не только от типа моделируемой среды, но и от физических основ технологических процессов, предпочтение отдается тем или иным моделям.

**Ключевые слова:** механика сплошных сред, механика жидкости и газа, газозвеси, порошковые среды, математическое моделирование.

**ANALYSIS OF RESEARCH ON MATHEMATICAL SIMULATION AND TECHNICAL APPLICATIONS  
PHYSICAL AND MECHANICAL PROCESSES IN DISPERSED MEDIA**

©2021

**Tukmakov Dmitry Alekseevich**, candidate of physical and mathematical sciences, researcher  
*Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"*,  
(420100, Russia, Kazan, Lobachevsky str. 2/31, email: tukmakovda@imm.knc.ru)

**Abstract.** The article provides a brief overview of studies on mechanical and physical processes in dispersed media. The main models of the motion of inhomogeneous media are presented, both multiphase media, the components of which have different aggregate states, and homogeneous mixtures, the components of which have the same phase composition. The differences in mathematical models describing the flows of various types of inhomogeneous media are considered, and the basic concepts of developing mathematical models of the dynamics of inhomogeneous media are discussed. The article analyzes the results obtained both by linearized models that admit an analytical solution and by nonlinear models that are integrated by numerical algorithms. The paper considered the dynamics of gas suspensions – multiphase mixtures, the dispersed component of which does not have a significantly greater mass than the mass of the carrier medium. Also described are models of the dynamics of powder media, mixtures in which the mass fraction of the dispersed component significantly exceeds the mass fraction of gas. The paper presents works devoted to theoretical studies of the fundamental foundations of the dynamics of dispersed flows, as well as the results of studies aimed at obtaining applied results in various industries. It was found that, depending not only on the type of the simulated environment, but also on the physical foundations of technological processes, preference is given to one or another model.

**Keywords:** continuum mechanics, fluid and gas mechanics, gas suspensions, powder media, mathematical modeling.

**Введение.** Одним из разделов современной механики сплошных сред является механика сплошных неоднородных сред. Неоднородные среды могут быть смесями компонент, имеющих одно фазовое состояние [1], или же смесями, которые состоят из компонент, имеющих различное агрегатное состояние, в таком случае эти среды называются многофазными [1–6]. Часто в механике однородных [7–11] и многофазных сред применяются методы математического моделирования [12–19]. Точные решения [7,8,13,28,31], как

правило касаются течений, модели которых имеют сильные упрощения: отсутствие вязкости, отсутствие теплопроводности, стационарность или одномерность течений [6–8]. Из-за сложности математических моделей уравнения моделей часто решаются численными методами [9–19].

**Целью** статьи является краткий обзор публикаций, посвященных изучению динамики неоднородных сплошных сред, носящих как фундаментальный, так и прикладной характер. При разработке математи-

ческих моделей механики сплошных сред возможно учитывать те или иные физические и механические эффекты, а возможно пренебрегать некоторыми из этих эффектов, уменьшать геометрическую размерность моделируемых течений для упрощения математической модели. В данной работе проводится анализ исследований по разработке математических моделей динамики неоднородных сред, в зависимости от типа неоднородной среды и моделируемого процесса.

**Материалы и результаты исследований.** Основы теории механики многофазных сред сформулированы в монографии [1], в монографии [2] разработаны математические модели, относящиеся непосредственно к техническим приложениям. На основе общей теории динамики многофазных сред разработаны математические модели динамики запыленных сред [3] и запылённых, газокапельных и порошковых сред [4]. Монография [5] посвящена исследованию акустических возмущений в различных дисперсных средах. В монографии [6] получены точные решения для линеаризованных моделей акустики газокапельных сред.

Часто для описания динамики сплошных сред применяются модели с одномерной геометрией [1–9]. Такие модели могут описывать течения в каналах, в которых пренебрегается взаимодействием текущей среды со стенками. Рассмотрим на примере одномерных моделей различные способы моделирования динамики неоднородных сред.

Для моделирования течений смесей возможно применить диффузионный подход, который предполагает, что все уравнения гидродинамики, кроме уравнений непрерывности массы компонент смеси, решаются для всей смеси в целом [1, 11–15]:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_2 u)}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2 + p)}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( [e + p]u - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0, \quad (4)$$

где  $\rho$ ,  $u$ ,  $T$ ,  $e$  – плотность, скорость, температура, полная энергия смеси;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – плотности компонент смеси. Уравнения математической модели дополняются граничными и начальными условиями, записываемыми для плотностей компонент смеси отдельно:

$$u(0, x_1) = u_1, u(0, x_2) = u_2, e(0, x_1) = e_1, e(0, x_2) = e_2, \\ \rho_1(0, x_1) = \rho_1^1, \rho_1(0, x_2) = \rho_2^1, \rho_2(0, x_1) = \rho_2^1, \rho_2(0, x_2) = \rho_2^2$$

Уравнения (1), (2) имеют одинаковый вид и отличаются лишь начальными и граничными условиями для плотностей компонент смеси. Такой подход применяется, если не предполагается учитывать обмен импульсом и теплом между компонентами. Модели диффузионного типа находят своё применение в моделировании течений неоднородных сред в энергетике, химической промышленности и медицинских технологиях [12–15]. Особенно эффективно модели такого рода применяются при моделировании технологических процессов водородной энергетики [13–15], так

как в газовых смесях нет необходимости описывать межкомпонентное взаимодействие.

Также часто применяется методика моделирования, в которой уравнения механики сплошной среды интегрируются для чистого газа, при этом, динамика дисперсных включений определяется суммой сил, приложенных к частицам со стороны несущей среды [27] (5)–(8):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2 + p) = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( [e + p]u - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0, \quad (7)$$

$$\rho_1 \frac{\partial u_1}{\partial t} = F(u, u_1). \quad (8)$$

Движение несущей компоненты смеси описывается одномерной нестационарной системой уравнений динамики сплошной среды (5) – (7), где  $u_1$  – скорость дисперсной компоненты;  $\rho$ ,  $\rho_1$  – плотности несущей среды и дисперсной компоненты,  $F$  – сила действующая на дисперсную компоненту со стороны несущей среды (8). Данный подход не предполагает учета взаимного межкомпонентного взаимодействия в среде, которое не является существенным при малых объёмных содержаниях дисперсных включений.

Континуальный подход [1–4] предполагает, что для каждой из компонент смеси записывается полная гидродинамическая система уравнений. Системы уравнений связаны слагаемыми, отвечающими за межкомпонентное взаимодействие – обмен импульсом и теплообмен (9) – (14):

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u_1)}{\partial x} = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial(\rho_1 u_1)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho_1 u_1^2 + p) = -F + \alpha \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial(e_1)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( [e_1 + p]u_1 + \lambda \frac{\partial T_1}{\partial x} \right) = Q - |F|(u_1 - u_2) - \alpha \left( \frac{\partial(p u_1)}{\partial x} \right), \quad (11)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_2 u_2)}{\partial x} = 0, \quad (12)$$

$$\frac{\partial(\rho_2 u_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho_2 u_2^2) = F - \alpha \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial(e_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (e_2 u_2) = -Q, \quad (14)$$

$$\rho_2 = \alpha \rho_{20} \quad (15)$$

Индексы «1» и «2» относятся к параметрам компонент смеси. Движение несущей компоненты смеси описывается одномерной нестационарной системой уравнений динамики сплошной среды (9) – (11). Динамика дисперсной компоненты смеси описывается системой уравнений, включающей уравнение сохранения «средней плотности» –  $\rho_2$ , произведения физической плотности материала частиц  $\rho_{20}$  (постоянной величины) и объёмного содержания дисперсной фазы –  $\alpha$  (15), изменяющегося на различных участках физической области вместе с движением дисперсных включений; уравнениями сохранения импульса (13) и энергии (14), записанными с учетом теплообмена и

обмена импульсом с несущей компонентой. Функции  $F=(u_1, u_2)$  и  $Q=(T_1, T_2)$  описывают межкомпонентный обмен импульсом и межкомпонентный теплообмен. Математическая модель (9) – (15) описывает течение неоднородных сред, в которых массы компонент смеси являются величинами одного порядка, в этом случае существенным является взаимодействие компонент смеси.

*Работы, посвященные динамике дисперсных сред с малым значением массовой доли дисперсной компоненты.* Для запыленных и газодисперсных сред – газовых взвесей соответственно твердых частиц и жидких капель, для пузырьковых сред, общим является то, что объем дисперсной фазы существенно меньше объема несущей среды [1]. Дисперсные включения движутся в потоке несущей среды – рисунок 1. Таким образом, наиболее существенный вклад в динамику такого рода смесей оказывает несущая среда.

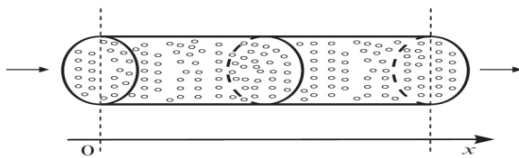


Рисунок 1 – Схематическое изображение течения дисперсного потока, дисперсная компонента которой имеет существенно меньший объем, в сравнении с объемом несущей среды.

Теоретическое исследование динамики газозвесей актуально в связи с конструированием и оптимизацией аппаратов очистки газов от дисперсных включений. В работе [19] исследовалось воздействие частиц на турбулентное течение двухфазной смеси. Моделировалось течение газа с твердыми частицами. Изучено влияние частиц на турбулентность течения, а также изучен теплообмен двухфазной среды со стенками трубы. Экспериментальному исследованию течения запыленной среды в циклоне, с квадратным сечением, посвящена статья [20]. Сепарация твердых частиц газозвеси изучается в статье [21]. При помощи  $k-\omega$  модели турбулентности создана математическая модель течения в сепарационном аппарате. Выявлено влияние вращения стенок и закрутки газового потока на поле скорости газа. Проведено сравнение результатов численных расчетов турбулентных течений с данными экспериментальных исследований. Недостатком работы являлось то, что математическая модель не предполагала исследования влияния дисперсной компоненты на течение газа. В работе [22] для моделирования динамики неоднородной среды применена математическая модель дисперсного потока, реализовывающая континуальный подход моделирования динамики многофазных сред. Численно решалась задача механики сплошных сред в трехмерной цилиндрической постановке. Выявлены закономерности выпадения частиц из закрученного газодисперсного потока. Недостатком работы является учет лишь исключительно силы аэродинамического сопротивления при описании межкомпонентного обмена импульсом, без учета динамической силы Архимеда,

силы присоединенных масс, силы Бассэ и др. Численному моделированию двухфазной турбулентной струи посвящена работа [23]. В статье были представлены результаты численного моделирования двухмерного течения запыленной среды в турбулентной струе для трех случаев ее конфигурации: нисходящей, восходящей, и без учета силы тяжести. Моделирование обеих компонент смеси осуществлялось на основе уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Для описания осредненных характеристик двухфазного течения использовалась континуальная модель, аналогичная модели (9) – (14). Удовлетворительное соответствие численных расчетов континуальной модели с данными эксперимента демонстрируют влияние взаимодействия газа и частиц. Математическая модель не учитывала столкновений частиц. Исследованию динамики скопления твердых частиц посвящена статья [24]. В работе изучалось распространение объема частиц в ускоряющемся потоке за фронтом ударной волны, влияние на дисперсию облаков прямоугольной и эллиптической формы отношения продольного размера облака к его поперечному размеру. Также рассматривались различные углы атаки несущего потока. Для численного решения применена конечно-разностная схема, основанная на смешанной эйлеровой и лагранжевой постановке задачи. Уравнения законов сохранения интегрировались в эйлеровой постановке, в которой фиксирован участок пространства, а для описания движения частиц применяется лагранжевый подход, предполагающий движение фиксированного объема среды в пространстве. Рассмотрено влияние формы облака частиц на распределение частиц в движущемся потоке. Представленная в статье математическая модель не учитывала лишь плоскую геометрию течения. Исследование течений дисперсных смесей связано также и с оптимизацией работы реактивных двигателей – в работе [25] моделировались внутренние двухфазные течения в сопле реактивного двигателя. На основании расчетов траекторий движения частиц, определяются потоки выпадения частиц на внутреннюю поверхность сопла. При этом математическая модель не учитывала межкомпонентного взаимодействия в смеси, которое может существенно влиять на динамику таких сред.

В работе [26] численно исследованы закономерности динамики частиц в акустическом резонаторе криволинейной формы, исследование выполнено с целью оптимизации конструкции акустических ловушек дисперсных частиц. Динамика несущей среды описывалась системой уравнений Навье-Стокса. Уравнения динамики неоднородной среды интегрировались численным конечно-разностным методом. Исследованы акустические течения и фокусировка частиц в емкости сложной геометрической формы. Изучены процессы образования вихрей Рэлея и закономерности распределения частиц на резонансном режиме колебаний. Выявлены зоны с резко увеличенной концентрацией частиц (акустические ловушки). Как и в работе [25] математическая модель не учитывала взаимообратно-



го воздействия компонент смеси.

Работа [27] посвящена численному исследованию влияния параметра закрутки потока и теплофизических свойств материала капель газокapельной среды на структуру турбулентного течения и теплообмен в двухфазном потоке. Для описания динамики и теплообмена неоднородной среды был использован эйлеров подход. Выявлено, что добавление капель приводит к существенному росту теплообмена в сравнении с однородным закрученным течением. Численное моделирование демонстрирует, что интенсификация теплообмена при использовании капель этанола выше, чем при использовании капель воды и ацетона. Частным случаем дисперсных сред являются пузырьковые жидкости – жидкости, насыщенные пузырьковыми включениями различных газов. В статье [28] исследовались нелинейные волновые процессы в двухфазной среде – пузырьковой жидкости. Задачей работы стало получение стационарного решения уравнений, описывающих движение уединенной волны в газожидкостной смеси без учета диссипативных процессов. Было рассмотрено одномерное стационарное течение жидкости с газовыми пузырьками, получено аналитическое решение. Течение моделировалось, как стационарное без учета нестационарных эффектов, также не рассматривалось влияние двухмерных или трехмерных эффектов.

В ряде исследований предметом изучения являются электрически заряженные газозвеси, связано это, в частности, с исследованием пылевой плазмы – взвешенных в ионизированном газе твердых частицах. В работе [29] численно моделируется динамика частиц в электрическом поле, без учета газодинамических эффектов. В работе [30] на основе газодинамической модели, не учитывающей взаимного влияния компонент смеси, проводятся численные расчеты динамики электрически заряженных запыленных сред, результаты расчетов сопоставляются с данными физического эксперимента, получено удовлетворительное согласование.

Практические проблемы, в связи с которыми моделируются и экспериментально исследуются течения газозвесей, как правило связаны с удалением из газовой среды дисперсных включений – жидких капель или твердых частиц [19–26]. Такого рода задачи возникают при очистке промышленных выбросов в химической промышленности, в топливно-энергетическом комплексе, промышленной энергетике, технологии авиакосмической отрасли, двигателестроения также используют потоки дисперсных сред. Для удаления дисперсных включений применяются методы, основанные на скоростном скольжении компонент смеси, инерционности частиц относительно газа. Поэтому при моделировании инерционного отделения частиц от несущей среды главным является описание поля скорости частиц, а взаимные эффекты не столь важны, как объект исследований. Гомогенные модели [12–15] (1)–(4) для моделирования скоростного скольжения компонент не применимы. Но в случае суще-

ственных массовых долей дисперсных компонент, взаимодействие газа и дисперсной фазы смеси может оказывать существенное воздействие на поле скорости газа, возникает необходимость в применении континуальных моделей. При исследовании газокapельных сред наибольший интерес представляют эффекты, связанные с испарением и конденсацией капель [6, 27]. Исследования динамики пузырьковых сред связаны с химической и нефтегазовой промышленностями [28]. При моделировании течений пузырьковых сред, содержащих существенную по объему пузырьковую фазу, возникает необходимость исследований пульсаций пузырьковых включений и их взаимодействия с течением несущей среды, взаимное влияние теплообмена газа (в пузырьках) с несущей средой. При моделировании динамики пылевой плазмы [29, 30] наиболее существенной задачей является решение уравнений электродинамики, так как распределение частиц во многом определяется электрическим полем. Связано это с тем, что плотность ионизированного газа на порядки меньше, чем плотность газа и соответственно влияние аэродинамических сил в плазме также не столь велико как в газе. Следует отметить, что плазма, даже без дисперсных включений, является неоднородной средой, так как состоит из электронов, анионов, катионов, а также не дислоцировавшихся молекул.

*Работы, посвященные исследованию динамики порошковых сред.* Другим типом неоднородных сред являются порошковые среды, или же в другой терминологии, среды насыпной плотности, в которых массовая доля дисперсной компоненты существенно превышает массовую долю газа [1, 3]. В порошковых средах объемное содержание дисперсной компоненты является величиной, как минимум, одного порядка с объемом газовой фазы – рисунок 2.

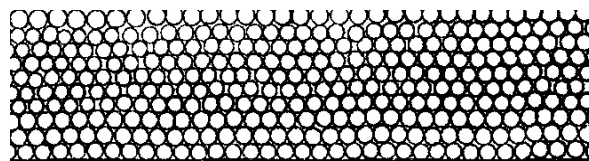


Рисунок 2 – Схематическое изображение среды насыпной плотности, дисперсная компонента имеет существенно большую массовую долю, чем газообразная составляющая смеси.

Исследование такого рода сред является дисциплиной, связанной как с механикой жидкости и газа, так и с механикой твердого деформируемого тела [3]. В качестве примера модели динамики порошковых сред можно рассмотреть модель дисперсного течения с двумя давлениями – давлением газа и давлением дисперсной компоненты, формирующимся за счет взаимодействия частиц (16) – (19):

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u_1)}{\partial x} = 0, \quad (16)$$

$$\frac{\partial(\rho_1 u_1)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u_1^2)}{\partial x} + \alpha_1 \frac{\partial p_1}{\partial x} = -F, \quad (17)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial t} + \frac{\partial(p_2 u_2)}{\partial x} = 0, \quad (18)$$

$$\frac{\partial(\rho_1 u_1)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_2 u_2^2) + \alpha_2 \frac{\partial p_1}{\partial x} + \frac{\partial p_2}{\partial x} = F, \quad (19)$$

Здесь  $\alpha_i$  – объемные содержания газовой и твердой фазы смеси,  $p_2 = p_2(u_2, \rho_2)$  – давление дисперсной компоненты смеси, при этом, как и в модели динамики газозвеси  $\rho_2 = \alpha_2 \rho_{20}$ .

В статье [31] на основе континуальной модели динамики многофазных сред приведены результаты аналитического и численного моделирования воздействия линейных и слабонелинейных газовых ударных волн с гетерогенной средой насыпной плотности, имеющей два давления – давление газа и давление дисперсной компоненты смеси. В работе получено точное решение для упрощенной системы уравнений. Выведены аналитические выражения для распределений давлений компонент в среде с насыпной плотностью. Проведено сопоставление полей давлений компонент смеси, полученных численным решением нелинейной системы уравнений движения порошкообразной среды с точным решением системы линейных уравнений. Как линейная, так и нелинейная математические модели учитывали лишь одномерную геометрию течения. Публикация [32] посвящена математическому моделированию переноса тепла и плавлению дисперсных насыпных сред. Исследовалась порошковая среда, образованная частицами различной формы, размеров и состава, хаотически расположенными относительно друг друга. Выведены уравнения теплообмена в порошковой среде насыпной плотности. С использованием выведенных уравнений решена модельная задача о нагреве и плавлении порошка. Даны оценки скорости плавления. Модель не учитывала процессы массопереноса порошковой среды. В публикации [33] представлены результаты численного исследования гидродинамики течения, возникающего после прохождения газом слоя неподвижной дисперсной среды насыпной плотности. Математическая модель учитывала объемные фазовые содержания газа и дисперсной среды, а также межфазный обмен импульсом. Изучено влияние геометрии насыпного слоя на качественные и количественные характеристики потока за преградой. Численные расчеты сопоставлялись с экспериментальными данными. Исследованы качественные закономерности протекания через дисперсную среду насыпной плотности несжимаемой и сжимаемой сред. Численная модель реализована в виде параллельного вычислительного кода на основе *OpenMP*- и *MPI*- технологий, что позволило проводить численные эксперименты с большим временным шагом. В статье [34] построена теоретическая модель акустики порошковых сред, основанная на равновесной скорости при теплообмене с внешней средой. Модель проверена экспериментально. Приведены результаты аналитического решения задачи периодического теплового воздействия на дисперсную среду насыпной плотности. При этом геометрия изучаемых

процессов предполагалась одномерной. Публикация [35] связана с проблемой хранения измельченных древесных материалов на лесоперерабатывающих предприятиях. Разработаны математические модели, описывающие влияние наиболее существенных факторов на процессы самонагрева измельченной древесины, хранящейся в больших массивах на открытых складах. При проведении исследований использовали методы математической статистики с применением вычислительных программных комплексов. В результате получена система дифференциальных уравнений в частных производных, моделирующих процессы самонагрева измельченной древесины и позволяющих прогнозировать формирование температурного поля внутри объема дисперсной среды, состоящей из древесины, что позволит разработать методы безопасного хранения технологической щепы. В разработанных в исследовании математических моделях не учитывался массоперенос компонент смеси. В работе [36] исследуются дисперсные среды представляющее собой насыпные слои металлических шариков. Насыпные слои из металлических шариков являются демпфирующим элементом, защищающим конструкции от импульсных воздействий. Для оценки их демпфирующих свойств необходимы знания деформационных и прочностных характеристик при статическом и динамическом сжатии объема дисперсной среды. В статье приведены результаты исследований при различных скоростях деформации. Показано, что в результате деформирования образцов с ростом нагрузки наблюдается развитое пластическое течение и фрагментация шариков. Проведенные испытания в широком диапазоне нагрузок показали большие отличия между статическими и динамическими кривыми деформирования, характерные для высокопористых сред. Полученные результаты могут быть использованы для предсказательного моделирования элементов конструкций, содержащих насыпные слои. В публикации [37] исследованы процессы разделения сыпучей среды применительно к технологиям агропромышленного комплекса. Установлена количественная определительность примесного компонента при очистки зерновых смесей. Выявлены недостатки теории аппаратов разделения зерносмесей и эмпирических исследований по данной тематике. Предложены методы формирования физической модели для оценки динамики выделения компонентов зерносмеси ячеистой поверхностью. В статье [38] проведен анализ физических основ работы аппаратов, смешивающих порошковые среды, применительно к строительной промышленности, предложены перспективные направления этих технологий. В работе [39] разработана математическая модель фильтрации жидкости в порошковой среде. Разработана компьютерная программа, позволяющая вычислить зависимость коэффициента фильтрации от насыпной массы сорбента и температуры очищаемой жидкости. Осуществлен анализ эффективности различных фильтрующих материалов. Предложенная в статье математическая модель позволяет проверить

эффективность фильтрации фильтрующего материала в зависимости от технологически параметров процесса и физических свойств очищаемой среды. Исследования механике сред насыпной плотности применимы и в биотехнологиях – в работе [40] представлены результаты исследований по созданию искусственных подложек для выращивания клеток живого организма. Выявлено, что структуры, состоящие из полимерных микросфер возможно применять для выращивания клеток, из которых можно формировать искусственно выращенные ткани и органы.

Порошковые среды применяются во многих областях техники [31–40] – от биотехнологий, до строительства, также свойства дисперсных сред насыпной плотности используются с целью фильтрации жидкостей или газов. В динамике порошковых, сыпучих сред возникают как свойства твердых тел, так и жидкостей, в связи с этим модели динамики этих сред могут, если присутствует необходимость изучения таких явлений механики, сочетать в себе свойства моделей динамики твердого деформируемого тела и моделей механики жидкости [31, 33, 36]. Но во многих практических приложениях применяются нединамические модели порошковых сред, так как целью исследований являются процессы фильтрации жидкой компоненты или теплообмен в неподвижной порошковой среде [32, 35, 39].

**Заключение.** В статье рассмотрены работы, посвященные динамике дисперсных сред. Приведены основные типы математических моделей течений неоднородных сред. Представлен краткий обзор работ, посвященных тематике дисперсных сред, направленных как на фундаментальное исследование таких течений, так и на практическое применение дисперсных сред в различных промышленных технологиях. Из анализа результатов различных исследований следует, что выбор концепции разработки математической модели динамики смеси определяется параметрами моделируемого объекта. Сложные математические модели, учитывающие различные эффекты динамики смесей предполагают использование численных алгоритмов, точные решения возможно получить лишь для линеаризованных либо упрощенных нелинейных моделей. Компьютерные реализации численных алгоритмов решения уравнений сложных математических моделей могут также требовать и параллельных алгоритмов, для ускорения процесса численных расчетов. Тип математической модели соответствует физическим особенностям моделируемой смеси, так как в зависимости от характера неоднородной среды какими-то механическими или физическими эффектами возможно пренебречь. При этом также важно и то, какого рода технологический процесс или природное явление описывается математической моделью. Из публикаций в периодических изданиях следует, что для оптимизации технологических процессов, работающих с дисперсными средами, необходима разработка математических моделей, наиболее полно описывающих механические и физические процессы,

возникающих в динамике дисперсных сред.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Нигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред. [монография] /Р.И. Нигматулин – Москва: Наука. – 1978. – 336с.
2. Стернин Л.Е. Двухфазные моно – и полидисперсные течения газа с частицами. [монография] / Л.Е. Стернин – Москва: Машиностроение.– 1980. – 176 с.
3. Кутушев А. Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. [монография] /А.Г.Кутушев– Санкт-Петербург: Недра, 2003. – 284 с.
4. Федоров, А.В. Волновые процессы в газозвесах частиц металлов [монография], / А.В. Федоров, В.М. Фомин, Т.А. Хмель – Новосибирск, 2015. –301 с.
5. Temkin S. Suspension acoustics: An introduction to the physics of suspension [монография]. /Temkin S. – Cambridge University Press. – 2005. –398p.
6. Губайдуллин Д. А. Динамика двухфазных парогоза-капельных сред [монография]. /Д.А. Губайдуллин – Казань: Изд-во Казанского математического общества. – 1998. – 153с.
7. Седов Л.И. Механика сплошной среды [монография], Т.1, т.2. /Л.И. Седов – Москва: Наука. – 1984.
8. Низамова, А.Д. Исследование собственных функций возмущения поперечной составляющей скорости потока термовязких жидкостей / А.Д. Низамова, В.Н. Киреев, С.Ф. Урманчев //Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова. – 2019. – №2. – С. 132–137
9. Fletcher C. A. Computation Techniques for Fluid Dynamics [монография]. /C.A. Fletcher – Berlin: Springer-Verlang. – 1988. – 502 p.
10. Тукмаков, Д.А. Способ увеличения интенсивности колебаний газа, генерируемых в акустическом резонаторе/Д.А. Тукмаков //Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2014. – №3. – С.79-82.
11. Тукмаков, Д.А. Увеличение интенсивности колебаний газа в акустическом резонаторе./Д.А. Тукмаков//Инженерно-физический журнал. – 2015. – №3. – С.638-641.
12. Тукмаков, Д. А. Конечно-разностная модель динамики гомогенной смеси в применении к исследованию распространения и отражения ударной волны большой интенсивности в водородно-воздушной среде /Д.А. Тукмаков// Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 1. – С. 86–97.
13. Рыжков, И.И. Групповые свойства и точные решения модели вибрационной конвекции бинарной смеси/ И.И. Рыжков, И.В. Степанова// Прикладная механика и техническая физика. – 2011. – №4. – С. 72-83.
14. Голуб, В.В. Применение детонации водородовоздушной смеси в устройствах для безыгольной инъекции/ В.В. Голуб, Т.В. Баженова, Д.И. Бакланов, К.В. Иванов, М.С. Кривокорытов // Теплофизика высоких температур. –2013. – №1. – С.147-150.
15. Володин, В.В. Роль отдельных механизмов неустойчивости пламени в водородно-воздушной смеси/В.В. Володин, В.В. Голуб, А.Е. Ельянов, А.Е. Коробов А.Е., А.Ю. Микушкин//Вестник объединенного института высоких температур. – 2018. – № 1. – С. 78-81.
16. Тукмаков, Д.А. Численное исследование влияния свойств газовой составляющей взвеси твердых частиц на разлет сжатого объема газозвеси в двухкомпонентной среде/Д.А. Тукмаков// Инженерно –физический журнал. – 2020. – №2. – С. 304-310.
17. Тукмаков, А.Л. Динамика заряженной газозвеси с начальным пространственно неравномерным распределением средней плотности дисперсной фазы при переходе к равновесному состоянию / А.Л. Тукмаков, Д.А. Тукмаков// Теплофизика высоких температур. – 2017. – № 4. – С. 509-512.
18. Тукмаков, А.Л. Численное моделирование дрейфа твердых частиц при резонансных колебаниях газа в открытом канале /А.Л. Тукмаков //Акустический журнал. – 2009. – № 2. – С. 247-255.
19. Boulet, P. Influence of the particle – turbulence modulation modelling in the simulation of a non- isothermal gas-solid flow. / P.Boulet, S. Moissete // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2002. – Volume 45. – Issue 20. – P. 4201-4216.



20. Su, Yaxin Experimental study on the gas- solid suspension flow in a square cyclone separator. / Su Yaxin, Mao Yury // Chemical Engineering Journal. – 2006. – Volume 121. – Issue 1. – P. 51-58.
21. Шваб, А.Б. Численные исследования закрученного турбулентного течения в сепарационной зоне воздушно-центробежного классификатора / А.Б. Шваб, П.Н. Зятиков, Ш.Р. Садретдинов, А.Г. Чепель // Прикладная механика и техническая физика. – 2010. – №2. – С. 174-181.
22. Баянов, И.М. Моделирование динамики двухфазного потока в сепараторе / И.М. Баянов, Ю.Ф. Гортышов, В.Г. Тонконог, М.И. Тонконог // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 4. – С. 34-42.
23. Каргушинский, А.И. Численное моделирование двумерной вертикальной двухфазной турбулентной струи / А.И. Каргушинский, Э.Э. Михаелидис, Ю.А. Руди, С.В. Туслер, И.Н. Щеглов // Механика жидкости и газа. – 2012. – №6. – С. 99-108.
24. Девис, С.Л. Дисперсия облака частиц в ударной волне. Влияние формы, угла поворота и геометрических параметров облака на динамику потока и дисперсию / С.Л. Девис, Т.Б. Дитман, Д.Б. Якобс, В.С. Дон // Прикладная механика и техническая физика. – 2013. – №6. – С.45-58.
25. Емельянов, В.Н. Околосопловые двухфазные течения / В.Н. Емельянов, И.В. Якимов // Химическая физика и спектроскопия. – 2006. – №3. – С.287-294.
26. Gubaidullin, D.A. Simulation using the limiting velocity approach of acoustic streaming establishment and aerosol particle focusing in complex-shaped acoustofluidic devices / D.A. Gubaidullin, P. P. Osipov, A.A. Abdyushev // Applied Mathematical Modelling. – 2021. – V. 92. – P. 785-797.
27. Пахомов, М.А. Влияние испарения капель на структуру течения и теплообмен в ограниченном закрученном газокapельном потоке за его внезапным расширением / М.А. Пахомов, В.И. Терехов // Теплофизика и аэромеханика. – 2018. – №6. – С.865-875.
28. Шагапов, В. Ш. Уединенные волны в газожидкостной пузырьковой смеси / В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов, У.О. Агишева // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2020. – №2. – С. 232-240.
29. Дикалюк, А.С. Численное моделирование разреженной пылевой плазмы в нормальном тлеющем разряде / А.С. Дикалюк, С.Т. Суржиков // Теплофизика высоких температур. – 2012. – № 5. – С. 611-619.
30. Tada Y. , Yoshioka S., Takimoto A., Hayashi Y. Heat transfer enhancement in a gas–solid suspension flow by applying electric field / Y. Tada, S. Yoshioka, A. Takimoto, Y. Hayashi // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – Volume 93. – P. 778-787.
31. Кутушев, А.Г. Взаимодействие слабых ударных волн со слоем порошкообразной среды // А.Г. Кутушев, С.П. Родионов // Физика горения и взрыва. – 2000. – №3. – С. 131-140.
32. Федяев, В.Л., Осипов П.П., Беляев А.В., Сироткина Л.В. Нагрев и плавление насыпных кусковых материалов / В.Л. Федяев, П.П. Осипов, А.В. Беляев, Л.В. Сироткина // Вестник самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – №2. – С. 174-182.
33. Михайленко, К. И. Математическое моделирование скоростной неравномерности потока газа за пористой преградой / К.И. Михайленко, В.С. Кулешов // Вычислительные технологии. – 2015. – №6. – С.46-58.
34. Покусаев, Б.Г. Исследование равновесной скорости звука парожидкостной среды с зернистым слоем с учетом теплофизических свойств засыпки / Б.Г. Покусаев, Э.А. Таиров, Е.В. Таирова, Д.А. Некрасов, С.А. Васильев // Известия МГТУ МАМИ. – 2012. – №2. – С.47-55.
35. Деснев, А.Н. Моделирование температурного поля в массиве кучи измельченной древесины / А.Н. Деснев, В.Ю. Тюрников, Г.Ф. Прокофьев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 6. – С. 213-223.
36. Брагов, А.М. Экспериментальное исследование деформационных свойств насыпного слоя из свинцовых шариков при динамическом и квазистатическом нагружении / А.М. Брагов, А.Ю. Константинов, А.В. Кочетков, И.А. Модин, А.О. Савихин // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2017. – №4. – С. 16-27.
37. Тишанинов, Н.П. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №6. – С.28-38.
38. Олейник, В.С. Анализ конструкций вибрационных смесительных машин / В.С. Олейник, К.Н. Фигура, Э.А. Мальцев, В.Н. Воронович // Механика XXI века. – 2018. – № 17. – С.122-124.
39. Черкашина, Н.И. Математическое описание очистки жидких технологических сред на примере СВО-5 / Н.И. Черкашина, А.О. Литвинова, Н.А. Попов // Энергетические установки и технологии, 2018, № 1, С. 112-116.
40. Козлов, А. Создание матриц для искусственных тканей на основе полимерных микросфер диаметром 6-60 мкм / А. Козлов, И. Грицкова, С. Гусев // Фотоника. – 2011. – №6. – С.40-45.

*Работа выполнялась в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.*

*Статья поступила в редакцию 27.04.2021  
Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 658.5

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0016

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНДУСТРИИ 4.0

©2021

**Шайхулова Айгуль Фазировна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технологии машиностроения»;

**Селиванов Сергей Григорьевич**, доктор технических наук, профессор  
*Уфимский государственный технический университет*

(450077, Россия, Уфа, ул. Карла Маркса, 12, e-mails: shaihulova@inbox.ru selivanov.s.g.@mail.ru)

**Аннотация.** В статье поднимается проблематика разработки стратегий цифровой трансформации производства, проводится литературный обзор дефиниций и методик, которые в настоящее время используются в проектах цифровизации ведущими экспертами в области. Статья носит ознакомительно-популяризационный характер, и ставит своей задачей обзор существующих исследований для постановки задачи методики цифровизации. На основании литературного обзора ставится постановка задачи формализации методики перехода к концепции Индустрии 4.0, которая обеспечит системный подход к решению задачи проектирования Smart Factories. Рассматриваются различные методы и подходы к проектированию и разработке дорожных карт подготовки «умных» производств. В статье рассмотрена проблематика технологического аудита – анализа производственной системы как принципиально важного этапа цифровой трансформации. Обсуждаются стратегии выбора приоритетных проектов и их последующего пилотирования, а также оценки эффективности их выполнения. Настоящее исследование является частью исследований авторов, посвященного разработке цифрового двойника предприятия по функции ТПП, целью которого является подготовка фундаментальной и методической базы для разработки стратегий цифровой трансформации, а также для управления производством в условиях Индустрии 4.0 и использования средств информатизации. Целью статьи является установление приоритетных направлений исследований в области цифровой трансформации производства Индустрии 4.0.

**Ключевые слова:** цифровое производство, цифровая трансформация, стратегия, производственный менеджмент, проектирование производства, цифровой двойник, Индустрия 4.0.

## DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGY DEVELOPMENT FOR INDUSTRY 4.0

©2021

**Shaykhulova Aigul Fazirovna**, candidate of technical sciences,  
associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies

**Selivanov Sergey Grigorievich**, doctor of Technical Sciences, professor  
*Ufa State Technical University*

(450077, Russia, Ufa, Karl Marx st., 12, e-mails: shaihulova@inbox.ru selivanov.s.g.@mail.ru)

**Abstract.** The article raises the problem of developing strategies for production digital transformation, provides a literary review of definitions and methods that are currently used in digitalization projects by leading experts in the field. The article is of an introductory and popularization nature and aims to review existing research for setting the task of digitalization techniques. Based on the literature review, the problem formulation of formalizing methodology for the transition to the concept of Industry 4.0 is set, which will provide a systematic approach to solving the problem of designing Smart Factories. Various methods and approaches to the design and development of roadmaps for the preparation of "smart" industries are considered. The article deals with the problems of technology audit - the analysis of the production system as a fundamentally important stage of digital transformation. Strategies for selecting priority projects and their subsequent piloting, as well as evaluating the effectiveness of their implementation are discussed. This study is part of the research and development of the authors, dedicated to the development of a digital twin of an enterprise in the function of the production preparation, the purpose of which is to prepare a fundamental and methodological basis for developing digital transformation strategies, as well as for managing production in the context of Industry 4.0 and using information technology. The purpose of the article is establishing research priority areas in the digital transformation field of Industry 4.0 production.

**Keywords:** digital manufacturing, digital transformation, strategy, production management, production design, digital twin, Industry 4.0.

**Введение.** Переход к Индустрии 4.0 является естественным этапом эволюционирования производственных систем на фоне смены технологических укладов. Научная и методологическая база для формирования ядра технологических решений цифрового производства готовится уже последние 20 лет. Можно сказать, что основой для появления отличительной черты «умных» предприятий является наличие ИАИС (ин-

тегрированной автоматизированной информационной среды), которая вырастает из использования концепции *CALS* и внедрения систем класса *PLM*. Иллюстрацией сказанного может являться диаграмма перехода (рис.1).

Исходя из рисунка 1 можно сделать важный вывод о необходимости системности и стадийности цифровой трансформации: переход на новую формацию

должен начинаться со внедрения компьютерного моделирования и с настройки систем сбора информации. Эта информация на последующих этапах позволит

разрабатывать корректные модели машинного обучения, которые смогут быть использованы для решения задач оптимизации и предиктивной аналитики.



Рисунок 1 – Прогноз по развитию технологий цифровой индустрии (Источник: СПбПУ)

Очевидно, что каждому этапу цифрового перехода будет соответствовать свой вид «производства будущего», эти производства будут отличаться друг от друга уровнем цифровизации, а также сложностью задач, которые будут решаться с помощью, например, искусственного интеллекта. В соответствии с этим Эрастос Филос, координатор ИКТ-проектов в *Factories of the Future*, выделяет три типа «производств будущего» (рис.2).

ходимо понять, как разработать стратегию такого перехода, которая будет обеспечивать устойчивое развитие производства на всех этапах и стадиях цифровой трансформации.

**Целью** статьи является установление приоритетных направлений исследований в области цифровой трансформации производства Индустрии 4.0.

**Материалы и результаты исследования.** *Разработка стратегии цифровой трансформации.* В настоящее время принято рассматривать цифровизацию с двух сторон: со стороны производства, когда внедряются инструменты «умного» производства, а технологические инновации Индустрии 4.0, и со стороны продукты, когда создаются сервисы клиентского обслуживания, которые используют технологии Индустрии 4.0. Сосредоточимся на первом. Основные этапы и стадии цифровой трансформации изображены на рисунке 3.



Рисунок 2 – «Производства будущего» - *Factories of the Future*

Цифровые фабрики (*Digital Factories*) ставят своей целью «увидеть» продукт до того, как он будет реально произведен. Основные технологии: *CAD/CAM/CAE, PDM/PLM*, станки с ЧПУ. Умные фабрики в дополнение к целям цифровых фабрик предполагают более широкое использование средств автоматизации, улучшенный контроль и оптимизацию процессов. Виртуальные фабрики суммируют цели и технологии цифровых и умных фабрик, а также создаются с целью управления цепочками поставок и для того, чтобы создавать ценность посредством объединения продуктов и услуг. Иной вариант интерпретации виртуальных фабрик – это объединение виртуальных активов и виртуальных способов управления.

Настоящая статья носит ознакомительно-популяризаторский характер, и ставит своей задачей обзор существующих исследований для постановки задачи методики цифровизации. Мы понимаем, к чему мы должны в итоге прийти в обозримом будущем – необ-

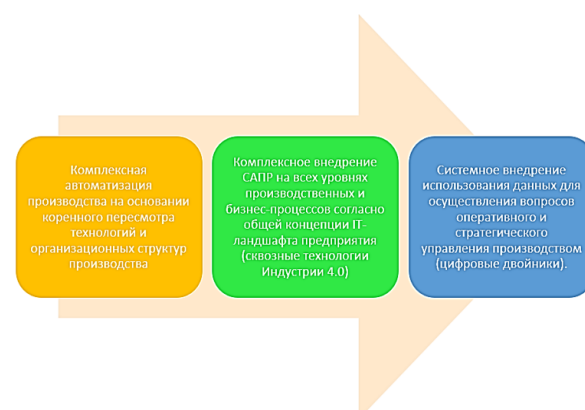


Рисунок 3 – Стадии цифровой трансформации предприятия

Тем не менее, любые проекты технического перевооружения производства, какими являются и проекты цифровой трансформации, начинаются с аудита предприятия. Технологический аудит проводится с целью постановки бизнес-задачи, которая должна будет решаться в ходе модернизации производства. Та-

кой анализ позволит:

- оценить реальный технологический уровень предприятия,
- степень автоматизации и цифровизации, выявив при этом существующие «островки» и слои цифровизации/ автоматизации,
- оценить «узкие» места производства.

Сбор данных для аудита может проводиться путем анкетирования и опроса сотрудников соответствующих служб, а также путем инспекции. Важно отметить, что данные должны быть полными, объективными и актуальными. От этого зависит правильность оценки результатов аудита. Полученная информация может быть скомпилирована в виде таблиц как результатов производственного аудита.

Одной из задач настоящего исследования является формализация этого этапа, поскольку практика показывает, что большинство провалов проектов технической подготовки производства происходит именно из-за неполного представления данных на данном этапе.

Необходимо отметить, что с повышением уровня автоматизации предприятия становится возможным автоматизированный сбор данных о производстве, вместе с тем авторы отмечают реальный технологический уровень отечественных производств, который не позволяет провести сбор данных с помощью, скажем, систем класса *MDC*.

**Постановка задачи цифровой трансформации.** Задача цифровой трансформации в общем виде может быть сформулирована в виде модернизации предприятия таким образом, чтобы использование данных для эффективного управления стало неотъемлемой частью производственных и бизнес-процессов предприятия. В таком случае становится доступным не только оперативное управление системы с использованием актуальных верифицированных данных, но и построение долгосрочных стратегий развития производства. В конечном счете, в этом и состоит смысл внедрения цифровых двойников/теней.

Задача цифровой трансформации ставится, исходя из найденных «узких» мест на этапе производственного аудита. Стратегия в таком случае будет состоять из череды шагов, которые будут последовательно расширять «узкие» места таким образом, чтобы совершить переход от предприятия «as is» к «as to be». Необходимо отметить, что стратегия трансформации не является статичной и должна уточняться на каждом из этапов.

**Приоритезация проектов цифровой трансформации.** После постановки задачи модернизации предприятия должны быть выдвинуты различные варианты решения заданной проблемы. Выбор первоочередных проектов должен основываться на критериях:

- экономической эффективности проекта (*ROI*, срока окупаемости проекта),
- решает ли проект поставленные задачи,
- вписывается ли в общую стратегию трансформации,
- насколько он реализуем с учетом данных техно-

логического аудита,

- риски проекта.

Важно отметить, что коэффициент *ROI* подходит не всем проектам: так, например, для проектов, характеризующих стратегию инновационного толчка, *ROI* может быть занижен. С другой стороны, для проектов стратегии рыночной тяги он будет давать адекватную оценку рентабельности решения. В тоже время надо понимать, что для большинства современных предприятий «узкое» место может быть в слабом уровне автоматизации предприятия, в таком случае проект будет гораздо более затратным по сравнению с решениями о внедрении САПР разного класса. Здесь необходимо формулировать комплексный критерий оценки эффективности проекта для данного предприятия на области поставленных бизнес и производственных задач, при этом необходимо использовать системы имитационного моделирования для верификации управленческих решений. Примером такой системы может являться система «*СимАТЛ*», которая была разработана авторами (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662492). Такая система способна моделировать работу производственного подразделения в зависимости от заданных условий.

На основании оценки с использованием комплексного критерия эффективности и верификации в системах имитационного моделирования выбирается приоритетный проект. Выбранное предложение будет внедряться на одном из подразделений предприятия в качестве пилотного проекта, который в случае успеха, будет масштабирован и тиражирован на остальные цеха/подразделения производства. Задачи пилотного проекта должны быть строго обозначены еще на этапе планирования так, чтобы по его завершению можно было оценить степень выполнения поставленных целей. Вне зависимости от исхода важно проанализировать успехи и неудачи, выяснить причины провалов (например, с помощью диаграммы Исикавы) и принять решение

- тиражировать пилотный проект на другие подразделения,
- тиражировать проект с внесением изменений,
- сменить стратегию, учтя причины неудачи пилотника.

Для пилотного проекта в таком случае будут очень важны короткие сроки выполнения и простота масштабирования в случае успеха.

**Заключение.** Успех стратегии цифровой трансформации зависит от грамотной постановки бизнес и производственной задачи, это делается на этапе технологического и производственного аудита. В связи с этим авторами ставится задача единой формальной методики разработки дорожных карт цифровой трансформации для обеспечения устойчивого развития предприятий в область технологий Индустрии 4.0. На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что приоритетным вариантом такой методики является использование комплексного критерия оцен-

ки эффективности проекта на области поставленных бизнес и производственных задач, при этом верификация управленческого решения должна производиться в системах имитационного моделирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Белоусов Ю.В. Методология определения цифровой экономики / Белоусов Ю. В., Тимофеева О. И. // Мир новой экономики. – 2019. - №13(3). – С. 79-89. DOI: 10.26794/2220-6469-2019-13-4-79-89.
2. Н. В. Курганова Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н. В. Курганова, М. А. Филин, Д. С. Черняев, А.Г. Шахлеин, Д.Е. Намют //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – vol. 7, no.5. – С. 120-126
3. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication / Grieves M. // White paper. – 2014. – V. 1. – P. 1–7.
4. Шведенко В.Н. Применение концепции цифровых двойников на этапах жизненного цикла производственных систем. / Шведенко В.Н., Мозохин А.Е. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. –2020. – Т. 20. № 6. – С. 815–827. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.
5. Евгеньев Г.Б. Российские технологии создания систем класса «Индустрия 4.0». / Евгеньев Г. Б. // Часть 2. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – № 9. – С. 18–27. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-9-18-27.
6. Боровков А. И. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки. / Боровков А. И., Рябов Ю. А. // Цифровая трансформация экономики и промышленности: сб. тр. конф. ИНПРОМ-2019. – 2019. – С. 234–245.
7. Боровков А. И. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. / Боровков А. И. и др. // Краткий доклад. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. – 2019. – С. 62.
8. Селиванов С. Г. Будущее развития цифрового производства в России / Селиванов С. Г., Кутин А. А., Закашевская Н.Н., Шайхулова А. Ф. // Manufacturing Engineering and technology for manufacturing growth: сборник научных трудов конференции. Ванкувер, Канада. – 2015 – С. 31 – 35
9. Love P. E. D. The ‘how’ of benefits management for digital technology: From engineering to asset management/ Love P.E.D., Matthews J. // Automation in Construction. – 2019. – #107. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102930.
10. Matarneh S.T. Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions / Matarneh S.T., Danso-Amoako M., Al-Bizri S., Gaterell M., Matarneh R. // Journal of Building Engineering. – 2019. – 24. DOI: 10.1016/j.jobbe.2019.100755.
11. Azhar S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry/ Azhar S. // Leadership and management in engineering. – 2011. – 11–3. – P. 241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127 28
12. Abatecola G. Real estate management: past, present, and future research directions / Abatecola G. [et al.]. // International Journal of Globalization and Small Business. – 2012. – 5–1–2. – P. 98–113. DOI: 10.1504/IJGSB.2013.050485
13. Lu Q. From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management / Lu Q., Xie X., Heaton J., Parlikad A.K., Schooling J. // Studies in Computational Intelligence. - 2020. - No. 853. P 392–404. DOI:1007/978-3-030-27477-1\_30
14. Lin Y.C. Developing final as-built BIM model management system for owners during project closeout: A case study / Lin Y.C., Lin C.P., Hu H.T., Su Y.C. // Advanced Engineering Informatics. - 2018. - 36. - P. 178–193. DOI: 10.1016/j.aei.2018.04.001.
15. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 г. № 1632-р // Официальный сайт Правительства Российской Федерации. Режим доступа: <http://government.ru/>.
16. Зачем России цифровая экономика? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rb.ru/longread/digital-economy-in-russia/>.
17. Фертман А. Д. Цифровизация экономики знаний // Трамплин к успеху. - 2018. - №3. - С. 17-20. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04\\_april/12/Tramplin-k-uspehu-N13-2018.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04_april/12/Tramplin-k-uspehu-N13-2018.pdf).
18. Borodulin, Kirill Towards Digital Twins Cloud Platform/ Borodulin, Kirill & Radchenko, Gleb & Shestakov, Aleksandr & Sokolinsky, Leonid & Tchernykh, Andrei & Prodan, Radu. // Microservices and Computational Workflows to Rule a Smart Factory. – 2017. – P. 209-210. DOI: 10.1145/3147213.3149234. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/321450833>.
19. Shymchenko A. V. Review of the Computational Approaches to Advanced Materials Simulation in Accordance with Modern Advanced Manufacturing Trends / Shymchenko A. V., Tereshchenko V. V., Ryabov Y. A., Salkutsan S. V., Borovkov A. I. // Materials Physics and Mechanics. – 2017. - 3. - P. 328-352.
20. Qi Q. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison / Qi Q., Tao F // IEEE Access. – 2018. - Vol. 6. - P. 3585-3593. [Электронный ресурс]. Режим доступа:<https://ieeexplore.ieee.org/document/8258937/>

*Статья поступила в редакцию 19.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 004.912, 004.89

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0017

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ КОНТЕНТА СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

© 2021

**Мартышкин Алексей Иванович**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Вычислительные машины и системы»

**Маркин Евгений Игоревич**, аспирант кафедры «Вычислительные машины и системы»

**Зупарова Валентина Владимировна**, магистрант кафедры «Вычислительные машины и системы»

*Пензенский государственный технологический университет*

*(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11,*

*e-mails: alexey314@yandex.ru, evgeniymarkin1@gmail.com, zuparova\_vv@mail.ru)*

**Аннотация.** В статье описаны программные модули автоматического отслеживания текстового содержания социальных сетей. Рассмотрены возможные варианты работы системы регулирования и отслеживания содержимого социальных сетей – онлайн и офлайн режимы. Приведено описание алгоритмов обработки и анализа текстовых данных, описание архитектуры разрабатываемого модуля. Обоснованы выборы классификаторов сообщений на базе расчета логистической регрессии за счет проведения тестирования некоторых из известных современных классификаторов с их последующим сравнительным анализом. Тестирование предлагаемого прототипа проводилось на основе метода перекрестной проверки. В статье отражены примеры работы созданных алгоритмов анализа текстового контента в онлайн и офлайн режимах. Разработанные алгоритмы способны классифицировать входные сообщения и определять наличие в тексте токсичных блоков. Отмечено, если пользователи пытаются видоизменить контент с целью обхода системы модерации, алгоритмы смогут отличить токсичное содержимое от нетоксичного. Проведено тестирование для определения верхнего порога сервиса регулирования, работающего в офлайн-режиме, определяющего максимально возможное количество модераций в секунду. В заключении сформулированы основные выводы по проделанной работе.

**Ключевые слова:** токсичное сообщение, онлайн режим, офлайн режим, социальная сеть, прототип, программный модуль, *TF-IDF, ELMo*.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE MODULE FOR AUTOMATIC TRACKING OF SOCIAL MEDIA CONTENT

© 2021

**Martyshkin Alexey Ivanovich**, candidate of technical sciences, docent,  
associate professor of sub-department «Computers and systems»

**Markin Evgeniy Igorevich**, postgraduate of sub-department «Computers and systems»

**Zuparova Valentina Vladimirovna**, master's student of sub-department «Computers and systems»

*Penza state technological university*

*(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11,*

*e-mails: alexey314@yandex.ru, evgeniymarkin1@gmail.com, zuparova\_vv@mail.ru)*

**Abstract.** The article describes software modules for automatic tracking of text content in social networks. Possible variants of the system for regulating and tracking the content of social networks – online and offline modes-are considered. The article describes the algorithms for processing and analyzing text data, and describes the architecture of the module being developed. The article substantiates the choice of message classifiers based on the calculation of logistic regression by testing some of the well-known modern classifiers with their subsequent comparative analysis. Testing of the proposed prototype was carried out on the basis of the cross-validation method. The article presents examples of the work of the created algorithms for analyzing text content in online and offline modes. The developed algorithms are able to classify input messages and determine the presence of toxic blocks in the text. It is noted that if users try to modify the content in order to bypass the moderation system, the algorithms will be able to distinguish toxic content from non-toxic content. Testing was conducted to determine the upper threshold of the regulation service operating in offline mode, which determines the maximum possible number of moderations per second. In conclusion, the main conclusions on the work done are formulated.

**Keywords:** toxic message, online mode, offline mode, social network, prototype, software module, *TF-IDF, ELMo*.

**Введение.** Социальные сети (СС) дали определенный толчок к революции на современный взгляд и общение людей между собой [1, 2]. Сегодня СС являются чуть ли не основными источниками новостей и другой необходимой информации. Обычно любая размещаемая пользователями информация никак не проверяется на соблюдение норм и правил общения

в сети Интернет. Такое содержимое (контент) может включать в себя нецензурную или бранную лексику и т.п. [3]. В статье приведены примеры работы прототипа отслеживания текстового наполнения в онлайн и офлайн режимах. Предлагаемые решения способны классифицировать входные сообщения, они могут определять наличие в тексте токсичных блоков.

**Цель**, преследуемая в ходе написания статьи, – исследование и разработка прототипа модуля автоматического отслеживания содержимого СС [4, 5] и сокращение временных затрат на модерацию за счет автоматического выполнения этого процесса. В статье решается задача экспериментального подтверждения эффективности предлагаемого прототипа и модуля отслеживания для высоконагруженной платформы. Входные данные включают в себя текстовые сообщения, необходимые проверить на токсичность. Отслеживание осуществляется в онлайн и офлайн режимах.

**Материалы и результаты исследования.** Объект исследования – текстовые сообщения, необходимые проверить на токсичность. В офлайн-режиме модерация должна иметь возможность корректировки действия модели на основе полученных в результате предыдущих запусков системы данных. Чтобы корректно предсказывать результат на контрольной выборке, модель должна напрямую зависеть от обучающей выборки, что достигается за счет ее корректного набора,

который должен быть разносторонним и охватывать максимально возможные условия конкретной задачи. Прототип, работающий в офлайн-режиме, должен реализоваться на основе решений, в основе своей использующих нейронную сеть. Примем, что высоконагруженная платформа имеет микросервисную архитектуру и в качестве методов взаимодействия между микросервисами используется система удаленного вызова процедур с открытым исходным кодом (*gRPC*) [6].

**Модерация в онлайн-режиме.** При решении поставленной в работе задачи создан прототип программного модуля. Анализ текстовых данных в приоритете осуществляется на основе словаря запрещенных слов. В случае, если таких слов не найдено, рассчитываем *TF-IDF* меру для входного текстового сообщения и принять решение о принадлежности текста сообщения к токсичному или нетоксичному классу [7]. Прототип программного модуля реализован на языке *Python* [8]. Рисунок 1 отражает алгоритм работы прототипа в онлайн-режиме.

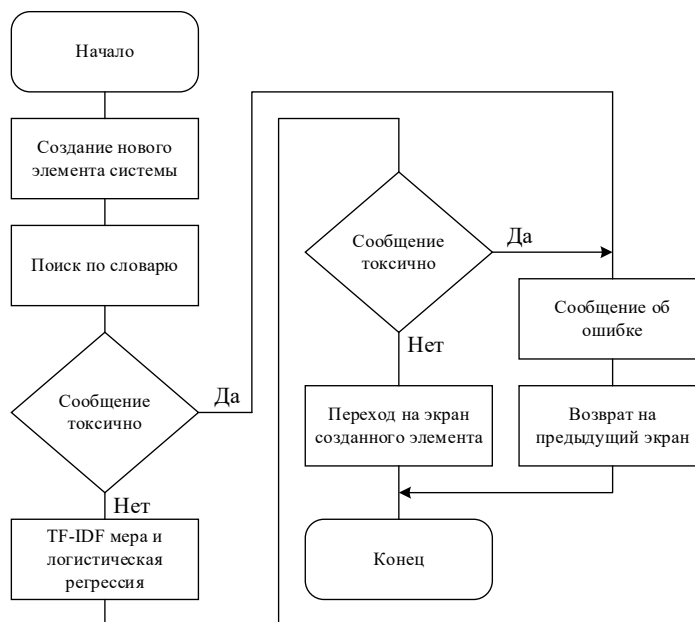


Рисунок 1 – Алгоритм работы прототипа модуля в онлайн-режиме

Рассмотрим алгоритм более подробно. Создавая элемент любого типа, пользователь попадает на экран создания элемента, где присутствуют различные текстовые поля, которые пользователь заполняет по своему усмотрению. Все инициализированные пользователем текстовые поля, в дальнейшем подлежат обработке и модерации на токсичность. Если после анализа текстового содержимого на наличие токсичных элементов, алгоритм не нашел токсичного текста, система отправляет запрос на создание элемента на сервер, ждет успешного завершения и отображает элемент пользователю. При обнаружении токсичного текста система отправляет модератору уведомление о попытке опубликования в системе токсичного сообщения. В программной реализации используется алгоритм Ахо-Корасика [9], основанный на построении конечного автомата, на вход которого подается

подстрока, наличие которой необходимо проверить в строке поиска. Если автомат пришел в конечное состояние, то данная подстрока присутствует в строке поиска.

**Расчет TF-IDF меры.** Рассчитывая *TF-IDF* меру для отслеживания содержимого в онлайн-режиме, вместо привычных слов использовались *n*-граммы [10], что дает некоторые преимущества: появляется возможность обработки и корректной классификации слов и словосочетаний, изначально отсутствующих в обучающей выборке; возможно изменять минимальную длину символов одного *n*-грамма, регулируя точность распознавания и классификации сообщений [11, 12]. На рисунке 2 приведен пример разбиения слова «образование» на *n*-граммы с минимальной длиной одного *n*-грамма равной 3.

Аналогично можно регулировать верхний порог

длины  $n$ -грамм, но тогда для слов, длина которых выше этого порога,  $TF-IDF$  мера не рассчитывается. Для корректной классификации полученных с помощью  $TF-IDF$  меры векторов признаков сообщений с максимальной эффективностью применен классификатор, базирующийся на расчете логистической регрессии [13]. Обоснованное решение об использовании именно данного классификатора принято после проведения тестирования на основе метода перекрестной проверки [14]. Необходимо правильно классифицировать

сообщения тестовой выборки и определить процент верных ответов. Такой подход позволяет сбалансировано протестировать всю обучающую выборку. Помимо логистической регрессии тестировались также классификаторы на базе случайного леса [15, 16] и метода опорных векторов [17]. В качестве обучающей и тестовой выборки использовались собранные ранее данные.

Результаты проведенных экспериментов отражены на графиках, представленных на рисунке 3.

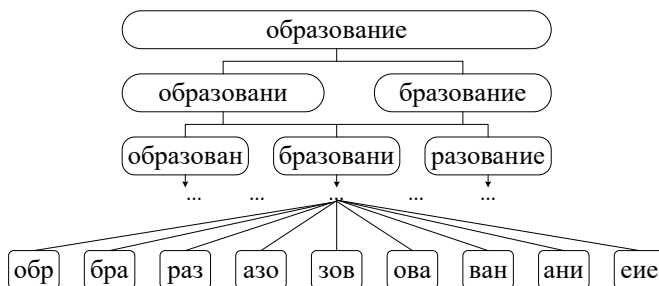


Рисунок 2 – Разбиение слова на  $n$ -граммы

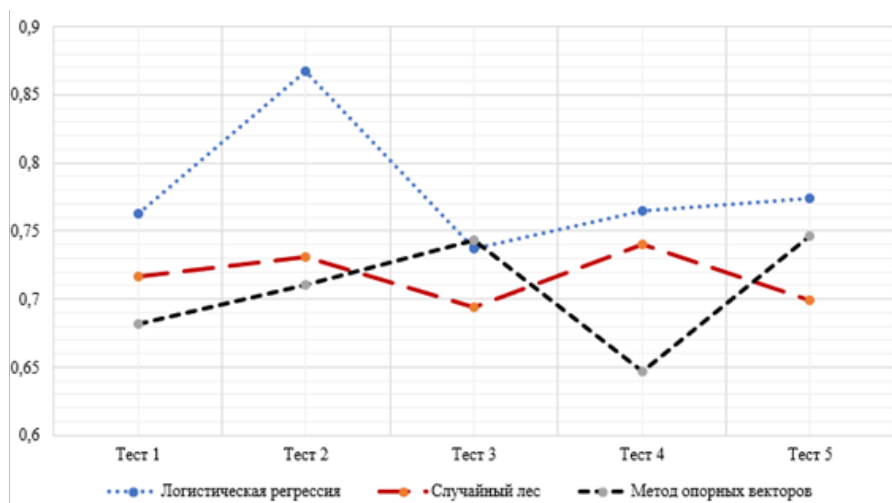


Рисунок 3 – Результаты экспериментов по определению оптимального классификатора сообщений в онлайн-режиме

Опираясь на результаты, заключим, что классификатор с принципами функционирования на основе логистической регрессии, является одним из самых эффективных способов классификации сообщений и проверки их на токсичность.

**Модерация в офлайн-режиме.** Работа в офлайн-режиме подразумевает, что содержимое уже опубликовано в СС, то есть запрос на сервер уже пришел, выполнен и создан новый элемент системы. Теперь в фоновом режиме следует проверить текстовое наполнение созданного элемента на содержание токсичных составляющих. Логика работы прототипа в офлайн-режиме основана на анализе и обработке текста с помощью предварительно обученных языковых моделей (ELMo) [18, 19]. Стоит обратить внимание на обучающую выборку. Часто нейросетевые алгоритмы показывают хорошие результаты на тестовой выборке, но при обработке реальных данных от пользователей возможны сбои [20]. Если алгоритм принял за токсичные данные, которые таковыми не являются,

модератор может добавить их в обучающую выборку и переобучить алгоритм.

Для классификации сообщений, как и в случае с онлайн-режимом, выбран классификатор на основе логистической регрессии. Аналогичным образом проведены эксперименты для определения оптимального классификатора для работы алгоритма в офлайн-режиме. В качестве обучающей и тестовой выборки использовались собранные ранее данные. Результаты тестирования отражены на графиках, представленных на рисунке 4.

Отметим, что для алгоритмов, работающих в онлайн и офлайн режимах, использовались разные обучающие выборки ввиду того, что данные режимы решают разные задачи.

Алгоритм на базе  $TF-IDF$  меры не способен в полной мере оценивать токсичность сообщения по его смыслу и содержанию. Получено, что использование в качестве классификатора сообщений логистической регрессии дает прирост в точности определения

класса сообщения порядка 6%, в отличие от случая использования классификатора на основе метода опорных векторов. Поэтому этот алгоритм выбран в качестве основного.

В качестве примера работы прототипа модуля модерации содержимого СС в онлайн-режиме рассмотрим вариант создания элемента в системе, содержа-

щего токсичные блоки данных. При попытке создать контакт с токсичным названием модуль модерации обнаруживает токсичный контент и блокирует данную попытку еще до отправки запроса на сервер. Пользователь получает сообщение об ошибке, а модератор системы получает уведомление о попытке публикации в СС элемента с токсичным содержанием.

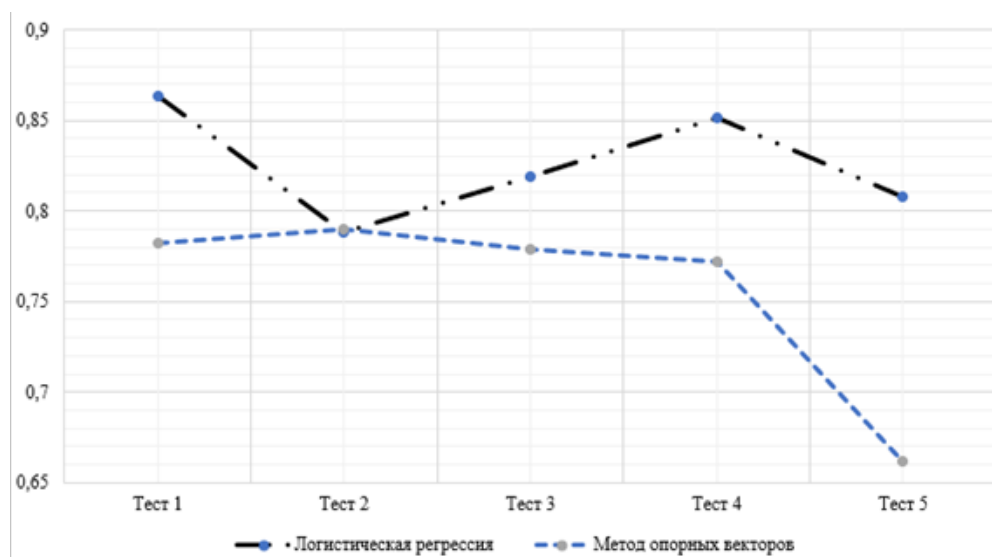


Рисунок 4 – Результаты экспериментов по определению оптимального классификатора сообщений в офлайн-режиме

В завершении исследования проведено нагрузочное тестирование для анализа работы алгоритма. Для моделирования работы пользователей в системе использовалась утилита для проведения нагрузочного тестирования *JMeter* [21]. Суть тестирования в следующем: пользователи регистрируются в системе и со случайной вероятностью создают элементы с токсичным содержанием. В качестве второго примера работы прототипа модуля модерации контента СС в офлайн-режиме рассмотрен вариант, когда содержащий токсичный текст элемент уже опубликован. В данном случае это заметка с токсичным блоком данных. Отслеживание в онлайн-режиме не нашло токсичного содержания ввиду того, что анализировался только заголовок структурного элемента. Отслеживание и проверка содержания осуществлялись алгоритмом в офлайн-режиме. В примере использовались сообщения, приобретающие токсичный окрас только в специфичном контексте. Более того, возможны попытки видоизменения данных с целью обхода системы модерации. После обнаружения токсичного содержания текстовые данные внутри заметки обновляются и элемент отображается в нетоксичном виде. Модератору также отправляется уведомление об обнаружении элемента, нарушающего правила сообщества. Из проведенных тестов получено, что максимальная нагрузка, которую способен обработать сервис в офлайн-режиме, порядка 600 операций в секунду. Далее система переходит в состояние насыщения, и все вновь поступающие на модерацию запросы помещаются в очередь и ожидают обработки. Полученный показатель нагрузки является вполне прием-

лемым уровнем предлагаемого прототипа.

**Заключение.** В статье представлен прототип модуля автоматической модерации текстового содержания СС. В работе рассмотрены решения, на основе которых предложены методы обработки и классификации текстовых данных. Предложенный алгоритм функционирует в онлайн (модель модерирует текстовое содержание на основе словаря запрещенных слов, рассчитывая *TF-IDF* меру для выявления текстового содержания с ненормативной лексикой) и офлайн (текст обрабатывается с помощью предобученной языковой модели, с помощью которой возможно модерировать содержание текстовых сообщений) режимах. Результаты экспериментальной проверки свидетельствуют о том, что прототип справляется со своей задачей на тестовых данных. Для более подробного исследования и получения результатов будут проведены дополнительные исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Реутов Е.В. Социальные сети в региональном сообществе: монография / Реутов Е.В., Колпина Л.В., Реутова М.Н., Бояринова И.В.; отв. ред. Е.В. Реутов. Белгород: Константа, 2011. – С. 80–88.
2. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2010. – 228 с.
3. Arefyev N. Evaluating Three Corpus-Based Semantic Similarity Systems for Russian. / Arefyev N., Panchenko A., Lukanin A., Lesota O., Romanov P. // In Proc. of the 21st International Conference on Computational Linguistics and Intellectual Technologies Moscow, Russia. RGGU. – 2015. – pp. 106–118.
4. Что такое модерация: определение понятия, виды и способы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.calltouch>.



ru/glossary/moderatsiya-chto-eto-takoe-i-gde-primenyaetsya/ (дата обращения: 15.04.2021).

5. Батура Т. В. Методы анализа компьютерных социальных сетей // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2012. – Т. 10. – вып. 4. – С. 13-28.

6. gRPC | Microsoft Docs [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/architecture/cloud-native/grpc> (дата обращения: 15.04.2021).

7. Михайлов Д. В., Козлов А. П., Емельянов Г. М., Выделение знаний и языковых форм их выражения на множестве тематических текстов: подход на основе меры TF-IDF // Компьютерная оптика. – Т. 39. – № 3. – 2015. – С. 429–438.

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

9. Алгоритм Ахо-Корасик - Алгоритмика [Электронный ресурс]. – URL: <https://algorithmica.org/ru/aho-corasick/> (дата обращения: 15.04.2021).

10. Автоматизация выявления модификаций в образе договорных документов с помощью модели N-грамм / Блог компании Smart Engines / Хабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/smartengines/blog/500310/> (дата обращения: 17.04.2021).

11. Бершадская Е.Г., Видясова Л.А. Автоматизированный инструмент опинион-майнинг как средство обработки текстов // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XIV Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией И.И. Сальникова. – 2016. – С. 46–50.

12. Бершадская Е.Г., Назиров Р.Р. Проблемы сбора и представления неструктурированной информации из открытых источников // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XVI Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией И.И. Сальникова. – 2018. – С. 64–68.

13. Как легко понять логистическую регрессию / Блог компании .io / Хабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/io/blog/265007/> (дата обращения: 17.04.2021).

14. Что такое перекрестная проверка | Data Science [Электронный ресурс]. – URL: <http://datascientist.one/cross-validation/> (дата обращения: 15.04.2021).

15. Открытый курс машинного обучения. Тема 5. Композиции: бэггинг, случайный лес / Блог компании Open Data Science / Хабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/324402/> (дата обращения: 15.04.2021).

16. Курс по теоретическому глубокому машинному обучению deep learning в nlp. Лекции 1–5. [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/deermipt/dl> (дата обращения: 15.04.2021).

17. Метод опорных векторов – Supported Vector Machine (SVM) [Электронный ресурс]. – URL: <http://statistica.ru/branches-maths/metod-opornykh-vektorov-supported-vector-machine-svm/> (дата обращения: 10.04.2021).

18. Pennington J., Socher R., Manning C. Glove: Global vectors for word representation // Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP). – 2014. – С. 1532-1543.

19. Wojanowski P. et al. Enriching word vectors with subword information // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2017. – Т. 5. – С. 135-146.

20. Маркин Е.И., Подопригора И.А., Зоткина А.А., Бершадская Е.Г. Методы разработки искусственных нейронных сетей // Вестник современных исследований. – 2018. – № 3.1 (18). – С. 49–52.

21. jMeter - Краткое руководство - CoderLessons.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://coderlessons.com/tutorials/java-tehnologii/vyuchi-jmeter/jmeter-kratkoe-rukovodstvo> (дата обращения: 15.04.2021).

*Статья поступила в редакцию 13.05.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 004.942

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0018

## АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО РАССТАНОВКЕ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ

©2021

**Стативко Роза Усмановна**, кандидат технических наук, доцент  
**Коломыцева Елена Павловна**, аспирант,

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова*  
(308012, Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д.46,  
e-mails: Stativko1@mail.ru, creame2005@yandex.ru)

**Аннотация.** Целью данной работы является разработка подходов, рекомендаций и алгоритмов по поддержке принятия решения по расстановке датчиков (движения, освещения и присутствия) в помещениях на основании введенных пользователем критериев. Предложена архитектура информационной системы для автоматизации расстановки датчиков, дана характеристика каждого блока. Приведены примеры расположения потолочных, настенных и потолочно-настенных датчиков, полученные с использованием информационной системы, которая дает возможность получения до трех вариантов расстановки и способа размещения датчика каждого вида по критерию максимизации площади покрытия, а также минимизация общей стоимости всей совокупности датчиков. Согласно предложенному алгоритму расчета площади покрытия пользователь получает значения площади покрытия и минимальной стоимости. По полученным вариантам пользователь может сделать выбор, ориентируясь на площадь покрытия и на стоимость датчиков.

**Ключевые слова:** задача покрытия, комбинаторная оптимизация, датчик, движение, освещенность, алгоритм расстановки, архитектура информационной системы, геометрическое покрытие.

## DECISION SUPPORT ALGORITHM FOR INSTALLATION OF INDOOR MOTION SENSORS

©2021

**Stativko Roza Usmanovna**, candidate of Engineering Sciences, associate professor,  
**Kolomytseva Elena Pavlovna**, post - graduate student,

*Belgorod State Technological University named by V.G. Shukhov*  
(308012, Belgorod, BSTU VG Shukhov, str. Kostyukova, d.46, e-mails: Stativko1@mail.ru, creame2005@yandex.ru)

**Abstract.** The purpose of this work is to develop approaches, recommendations and algorithms to support decision-making on the placement of sensors (motion, lighting and presence) in rooms based on the criteria entered by the user. The architecture of the information system for automating the placement of sensors is proposed, the characteristics of each block are given. Examples of the location of ceiling, wall and ceiling-wall sensors obtained using an information system, which makes it possible to obtain up to three options for the placement and placement of each type of sensor according to the criterion of maximizing the coverage area, as well as minimizing the total cost of the entire set of sensors are given. According to the proposed algorithm for calculating the coverage area, the user receives the values of the coverage area and the minimum cost. According to the options received, the user can make a choice, focusing on the coverage area and the cost of sensors.

**Keywords:** coverage problem, combinatorial optimization, sensor, motion, illumination, placement algorithm, information system architecture, geometric coverage.

**Введение.** Задача расстановки датчиков движения относится к задачам покрытия области и характеризуется как класс *NP*-трудных задач комбинаторной оптимизации, которая относится к проблематике «раскрой и упаковки» (*Cutting and Packing, C&P*). Впервые задача максимального покрытия была сформулирована в 2002 г. Е. Заком [1]. К фундаментальным работам этого направления относятся работы: И.В. Романовского [2], Э.А. Мухачевой [3], Ю.Г. Стояна [4]. К задаче о покрытии сводятся многие известные задачи дискретной оптимизации [5–10]: транспортная задача, задачи с неделимостью, экстремальные комбинаторные задачи, задачи на неклассических областях, задача о коммивояжере, задачи теории расписаний и др. При решении многих задач расстановки датчиков необходимо учитывать геометрические особенности помещения.

Метаэвристические алгоритмы [11–16] можно

адаптировать для решения задач в различных системах: освещения, агротехнических, охранных, беспроводной связи, воздушного наблюдения и многих других. Алгоритмы помогут повысить эффективность систем и уменьшить затраты на их проектирование и реализацию.

**Целью** работы является разработка рекомендаций, подходов и алгоритмов по расстановке датчиков движения, освещения и присутствия, а также программы для решения задачи геометрического покрытия, способной выводить рекомендации пользователю по расстановке датчиков на основании введенных пользователем данных.

В данной работе предложен алгоритм размещения датчиков в помещении таким образом, чтобы вся поверхность была максимально покрыта с наименьшей площадью перекрытий датчиков, а также наименьшим их количеством с целью минимизации затрат.

**Материалы и результаты исследования.** *Математическая постановка задачи.* Введем понятия и определения. Пусть в качестве площади помещения ( $S_0$ ) выступает геометрическая поверхность (прямоугольник, многоугольник) с заданными параметрами:  $l$  – длина помещения и  $w$  – ширина помещения. Имеется множество датчиков  $D = D_k \cup D_z$ , которое является объединением двух множеств  $D_k$  – множество потолочных датчиков и  $D_z$  – множество настенных датчиков. Каждый принадлежащий  $D$  элемент  $d_i$  соответствует конкретному типу датчика и имеет свои базовые характеристики: радиус ( $r_k, r_z$ ) и цена ( $C_{(k,z)}$ ).

Для решения проблемы расстановки датчиков нужно разбить геометрическую поверхность (площадь помещения) на зоны согласно параметрам датчиков  $d_i(r_k, r_z)$ .

Используем следующие обозначения переменных, которые необходимы для формулирования задачи расстановки:

- $n$  – количество датчиков в базе;
- $r_k$  – радиус  $k$ -го датчика (потолочные);
- $r_z$  – радиус  $z$ -го датчика (настенные);
- $Kd_k$  – количество потолочных датчиков ( $k$ );
- $Kd_z$  – количество настенных датчиков ( $z$ );
- $i$  – количество датчиков по ширине помещения;
- $j$  – количество датчиков по длине помещения;

$Sp = \{Sp_k, Sp_z, Sp_{kz}\}$  – площадь покрытия датчиками, где:

- $Sp_k$  – площадь покрытия  $k$ -го датчика;
- $Sp_z$  – площадь покрытия  $z$ -го датчика;
- $Sp_{kz}$  – площадь покрытия  $z$ -го датчика и  $k$ -го датчика;

$CT_{(k,z)}$  – стоимость датчиков ( $k, z$ ).

Сформулируем постановку задачи для расстановки датчиков. Задача состоит в том, чтобы выполнялись условия:

$$GT: \begin{cases} L1 = \frac{Sp(Kd_k, Kd_z, Kd_{kz})}{S_0} \rightarrow 1 \\ CT(Kd_k, Kd_z, Kd_{kz1}) \rightarrow \min, d_i \in D \end{cases} \quad (1)$$

Критерий  $L1$  отражает максимум покрытия  $S_0$  ( $0 < L1 \leq 1, L1 \rightarrow 1$ ).

*Разработка подходов к решению задачи по автоматизации расстановки датчиков.* Согласно постановке задачи необходимо разработать подходы по расстановке датчиков и создать программное средство, способное выдавать пользователю рекомендации по расстановке датчиков на основании введенных пользователем данных.

Архитектура информационной системы с рекомендательным блоком по автоматизации расстановки датчиков может быть представлена следующими блоками (рис. 1):

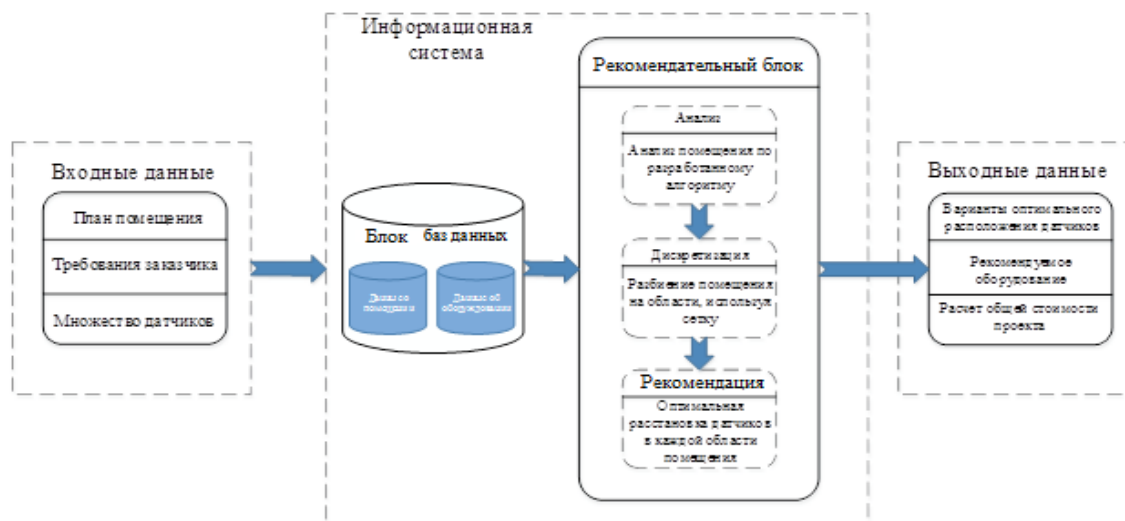


Рисунок 1 – Информационная система с рекомендательным блоком по автоматизации расстановки датчиков

Блок баз данных содержит данные о помещении и данные об оборудовании. Первая база данных содержит информацию о помещении: план (со структурной информацией), расположение стен. Вторая база данных содержит информацию о датчиках различных типов, включая их характеристики и цены. Рекомендательный блок является ядром информационной системы и выполняет три функции: анализ, дискретизация и рекомендация.

На этапе анализа определяются зоны помещения, в которых необходимо установить датчики, и которые могут быть обследованы независимо от остальной части помещения. Под зоной будем понимать часть помещения, которая охватывается датчиком согласно его параметрам.

Приведем пример размещения датчиков разных типов:

1. Расстановка потолочных датчиков. Определим площадь покрытия как совокупность площадей всех зон. Зона в данном случае – это площадь, вычисляемая ( $S_i = \pi R^2$ ).

1.1. На рисунке 2 показан фрагмент расстановки потолочных датчиков по  $l$ -длине помещения:

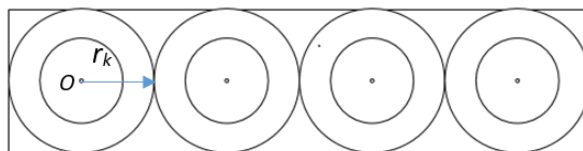


Рисунок 2 – Фрагмент расположения потолочных датчиков

1.2. В случае если потребителя не устраивает характер расположения датчиков представленных на рисунке 2, то минимизируем площадь непокрытого помещения представленной на рисунке 3 расстановкой:

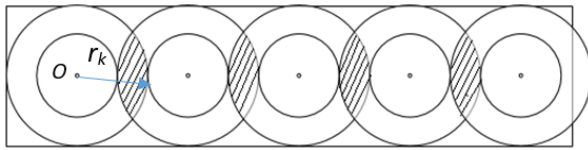


Рисунок 3 – Фрагмент расположения потолочных датчиков с максимизацией покрытия

На рисунке 4 показан фрагмент блок-схемы вычисления наибольшей площади покрытия помещения путем перебора имеющихся потолочных датчиков в базе данных. В результате работы данного алгоритма получаем необходимое количество потолочных датчиков и соответственно можем получить их стоимость  $CT_k = Kd_k * C_k$ .

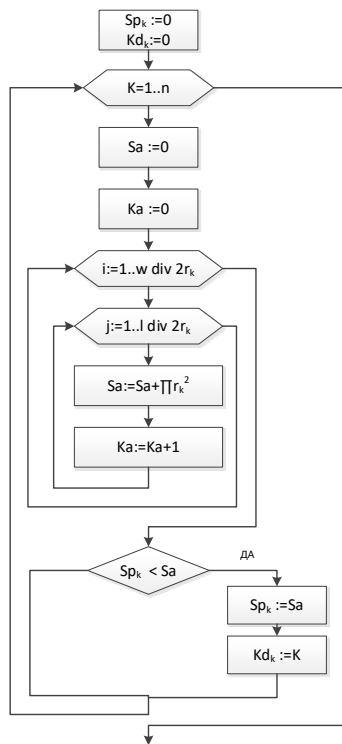


Рисунок 4 – Фрагмент блок-схемы алгоритма расчета площади покрытия для потолочных датчиков движения

## 2. Расстановка настенных датчиков:

2.1. Если ширина помещения сопоставима с параметрами настенных датчиков, то получаем картину представленную на рисунке 5.

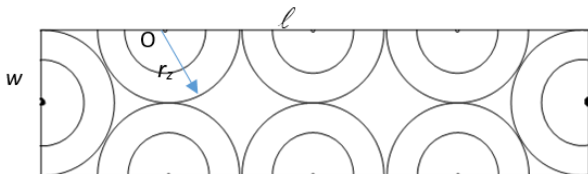


Рисунок 5 – Фрагмент расположения настенных датчиков

На рисунке 6 показан фрагмент блок-схемы вычисления наибольшей площади покрытия помещения пу-

тем перебора имеющихся настенных датчиков в базе данных, в результате которых получаем необходимое количество датчиков и их стоимость  $CT_z = Kd_z * C_z$ .

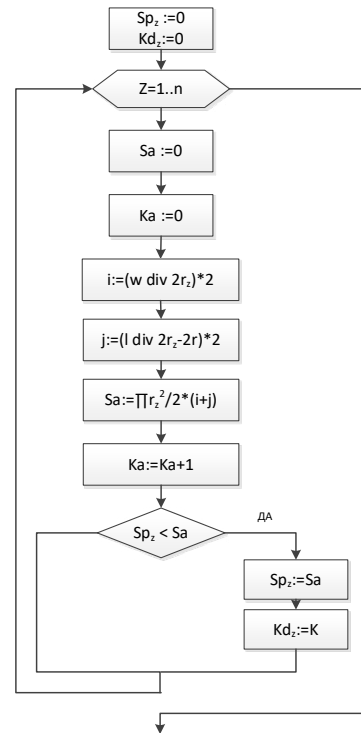


Рисунок 6 – Фрагмент блок-схемы алгоритма расчета площади покрытия для настенных датчиков движения

3. Возможна ситуация, когда параметры настенных датчиков не позволяют перекрыть площадь помещения, как это показано на рисунке 7.

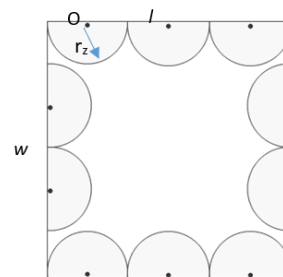


Рисунок 7 – Расстановки настенных датчиков не покрывающих всю площадь

В создавшейся ситуации можно рекомендовать пользователю смешанную расстановку датчиков (настенные и потолочные) (рис.8).

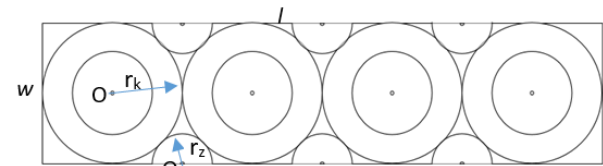


Рисунок 8 – Пример смешанной расстановки датчиков (настенные и потолочные)

Для смешанной расстановки датчиков следует разбить площадь помещения на зоны с учетом параметров датчиков (потолочных и настенных)  $d_1(r_k, r_z)$ .



Рисунок 9 и формулы (2), (3) поясняют порядок геометрического вычисления радиуса для выбора необходимого настенного датчика, где  $O$  – центр потолочного датчика,  $O'$  – настенного.

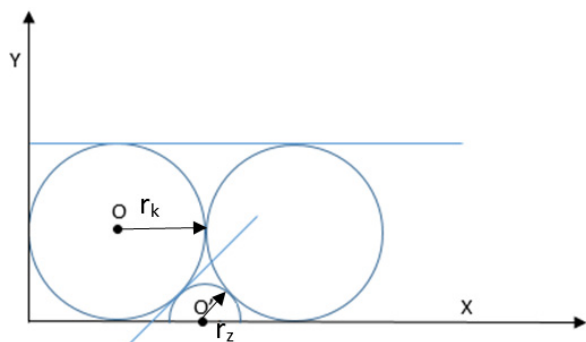


Рисунок 9 – Порядок определения радиуса настенного датчика при смешанной расстановке

$$|OO'| = \sqrt{r_k^2 + r_k^2} = r_k \sqrt{2} \quad (2)$$

Вычислив значение расстояния (2), получим требуемое значение радиуса настенного датчика (6):

$$r_z' = r_k \sqrt{2} - r_k = r_k (\sqrt{2} - 1) \quad (3)$$

Пользователю представляется возможность получения  $n$  ( $n = 1 \dots 3$ ) вариантов расстановки для каждого вида датчика и способа их размещения по критерию максимизации площади покрытия с учетом стоимости множества датчиков по каждому варианту. Пользователь имеет возможность выбора варианта, ориентируясь на площадь покрытия ( $Sp_k, Sp_z, Sp_{kz}$ ) и на наименьшую стоимость датчиков ( $CT_{mink}, CT_{minz}, CT_{min kz}$ ).

Необходимо принимать во внимание запросы пользователя и особенности планировки, в том числе наличие в помещении перегородок, которые могут мешать корректной работе датчиков и исказить результат работы программы.

**Заключение.** Применение предложенных подходов, рекомендаций, и разработанных алгоритмов по расстановке в помещениях датчиков движения, освещения и присутствия может существенно упростить принятие решения пользователем при проектировании схемы их установки. Учитывая предпочтения пользователя, можно получить различные схемы покрытия, и из полученных результатов выбрать подходящий пользователю вариант расположения датчиков.

Предложена архитектура информационной системы с рекомендательным блоком по автоматизации разработки схемы расстановки датчиков. Продемонстрированы примеры работы алгоритма проектирования схемы размещения различных датчиков. Информационная система предоставляет пользователю возможность получения трех вариантов расстановки для каждого вида датчика (настенного, потолочного и смешанного варианта) и способов их размещения с максимальной площадью покрытия, а также минимизация стоимости всей совокупности датчиков для каждого варианта, что упрощает процедуру выбора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Zak, E. Relationship between skiving stock and cutting stock problem // E. Zak, C. RENNICK // The 16th Triennial Conf. of

the Int. Federation of Operational Research Societies. Edinburgh, UK, 2002. P. 27.

2. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач. – М: Наука. – 1977. – 420 с.

3. Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В. Модели и методы расчёта раскроя упаковки геометрических объектов. – Уфа. – УГАТУ. – 1998. – 216 с.

4. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев. Наукова думка. 1986. 268 с.

5. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование). – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 192 с.

6. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. –М.: Мир, 1985. –512 с.

7. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. –304с.

8. Глебов Н. И., Кочетов Ю. А., Плясунов А. В. Методы оптимизации: Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2000. 105 с.

9. Овчинников В.А. Систематизация точных методов дискретной оптимизации // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistematizatsiya-tochnyh-metodov-diskretnoy-optimizatsii> (дата обращения: 15.04.2021).

10. Джамрад М., Романченко О.А., Толстикова О.Н. Размещение объекта обслуживания населения на основе метода дискретной оптимизации // Управление большими системами: сб. тр. 2006. No 14. С. 123-134.

11. Фроловский В.Д. Приближенные методы решения NP-трудных задач в системах автоматизации проектирования. Новосибирск. НГТУ.2006.-100 с.

12. Курейчик В.М., Гладков Л.А., Курейчик В.В. Генетические алгоритмы. М.ФИЗМАЛЛИТ. 2006.-320 с.

13. Фроловский В.Д. Оптимизация раскроя материалов на оборудовании с ЧПУ (модели, методы, алгоритмы). Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2011. 124 с.

14. Щербина О.А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор) // ТВИМ. 2014. №1 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metaevristicheskie-algoritmy-dlya-zadach-kombinatornoy-optimizatsii-obzor> (дата обращения: 15.04.2021).

15. Пантелеев А.В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. – М: МАИ-Принт. 2009. – 159 стр.

16. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2004. – No 4.

17. Blum C. and Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison // ACM Computing Surveys. – 2003. – 35(3). – P. 268-308.

18. Dorigo M. and Stützle T. Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances // M. Gendreau and J.-Y. Potvin, editors, Handbook of Metaheuristics, volume 146 of International Series in Operations Research & Management Science, chapter 8, pages 227-263. – New York: Springer, 2010. Режим доступа <http://code.ulb.ac.be/dbfiles/DorStu2010MetaHandBook.pdf>.

19. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. – Reading: Addison-Wesley, 1989.

20. Стативко Р.У., Коломыцева Е.П. Разработка алгоритмов определения необходимости использования типовых моделей датчиков. Известия Юго-Западного государственного университета. 2018;22(6):118-126.

Статья поступила в редакцию 06.05.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 004.855.5

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0019

## АНСАМБЛЕВЫЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧЕ МНОГОКЛАССОВОЙ SVM-КЛАССИФИКАЦИИ

©2021

**Костров Борис Васильевич**, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой электронных вычислительных машин

**Баранчиков Алексей Иванович**, доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры электронных вычислительных машин

**Клюева Ирина Алексеевна**, программист кафедры вычислительной и прикладной математики

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина*

(390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, e-mails: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru, alexib@inbox.ru, i.klyueva-job@yandex.ru)

**Аннотация.** При решении задач интеллектуального анализа данных на практике достаточно распространенными являются задачи многоклассовой классификации, когда используются более двух классов объектов в исходных данных. Для решения подобных задач применяются различные методы построения ансамблей классификаторов. Процесс ансамблирования основывается на различных способах компенсации ошибок классификаторов, входящих в ансамбль. Ансамбли обладают рядом преимуществ, к которым относится высокая способность к обобщению. Однако существуют недостатки ансамблей алгоритмов, такие как: подверженность к переобучению, сложность выбора базовых алгоритмов, составляющих ансамбль, неэффективное использование обучающей выборки. В настоящей работе рассматриваются методы ансамблирования с применением принципов стекинга и использования метаклассификации на основе реализации SVM-алгоритма. В представленных методах предлагаются различные подходы к генерации метахарактеристик при нескольких разбиениях обучающей выборки. При этом для генерации метахарактеристик используется весь объем обучающей выборки, а значения метахарактеристик определяются на основе нечеткой оценки принадлежности объектов к классам. Результаты экспериментальных исследований показывают, что разработанные методы обеспечивают лучшее качество классификации по сравнению с многоклассовой SVM-классификацией с использованием декомпозиционных подходов «один против всех» и «один против одного», многоклассовой классификацией с использованием классического метода стекинга и метода блендинга.

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, многоклассовая классификация, машина опорных векторов, ансамбли классификаторов, стекинг.

## THE ENSEMBLE METHODS IN THE MULTI-CLASS SVM CLASSIFICATION PROBLEM

©2021

**Kostrov Boris Vasilievich**, doctor of technical sciences, professor, head of the Electronic Computers Department

**Baranchikov Aleksey Ivanovich**, doctor of technical sciences, associate professor,  
professor of the Electronic Computers Department

**Klyueva Irina Alekseevna**, programmer of the Computational and Applied Mathematics Department

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin*

(390005, Ryazan, Gagarina street, 59/1, e-mails: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru, alexib@inbox.ru, i.klyueva-job@yandex.ru)

**Abstract.** When solving data mining problems, in practice, multi-class classification problems are quite common, when more than two classes of objects are used in the source data. To solve such problems, various methods of constructing classifier ensembles are used. The process of ensembling is based on various ways to compensate for the errors of the classifiers included in the ensemble. Ensembles have a number of advantages, which include a high ability to generalize. However, there are disadvantages of ensembles of algorithms, such as: the susceptibility to overfitting, the complexity of choosing the basic algorithms that make up the ensemble, and the inefficient use of the training sample. In this paper, we consider the methods of ensembling using the principles of stacking and the use of metaclassification based on the implementation of the SVM algorithm. In the presented methods, various approaches to generating metacharacteristics with multiple partitions of the training sample are proposed. At the same time, when generating metacharacteristics, the entire volume of the training sample is used, and the values of metacharacteristics are determined based on a fuzzy assessment of the objects' belonging to classes. The results of experimental studies show that the developed methods provide better classification quality compared to the multiclass SVM classification using the decomposition methods "one against all" and "one against one", the multiclass classification using the classical stacking method and the blending method.

**Keywords:** data mining, machine learning, multiclass classification, support vector machine, classifier ensembles, stacking.

**Введение.** В настоящее время технологии интеллектуального анализа данных (*data mining*) [1-4] востребованы и широко применяются в различных сферах деятельности, где накоплены ретроспектив-

ные данные. Технологии *data mining* ориентированы на поиск взаимосвязей, скрытых закономерностей в различных по своему объему и структуре массивах информации.

Для решения задач интеллектуального анализа данных применяются алгоритмы машинного обучения (*machine learning*) [5-7]. Задачей машинного обучения является предсказание результата по входным данным, чем разнообразнее входные данные, тем проще алгоритму машинного обучения определить закономерности в данных и обеспечить наиболее точный результат анализа. Востребованность алгоритмов машинного обучения объясняется их способностью к обучению на основе новых данных и поиску лучшего среди всех возможных решений при анализе и обработке большого объема информации.

В настоящее время машинное обучение имеет многочисленные сферы применения, включающие распознавание речи, обработку естественных языков, компьютерное зрение, диагностику заболеваний в медицине, биоинформатику, техническую диагностику производственного оборудования, скоринговые и экспертные системы и др.

Различают дедуктивное и индуктивное обучение. Если дедуктивное обучение относится к области экспертных систем, в которых содержатся формализованные знания, то основная задача индуктивного обучения заключается в восстановлении некоторой зависимости по эмпирическим данным. Различают три основных типа индуктивного обучения: обучение с учителем (*supervised learning*), обучение без учителя (*unsupervised learning*), обучение с подкреплением (*reinforcement learning*) и др.

Одной из распространенных задач машинного обучения в области интеллектуального анализа данных является задача классификации, решение которой основано на принципах обучения по прецедентам и предполагающая использование данных с заранее определенным конечным множеством классов. В базовом представлении задача классификации относится к бинарному типу, когда классифицируемые данные содержат два класса объектов. Однако на практике при классификации встречаются большие массивы данных, содержащие более двух классов объектов. Поэтому наиболее распространенным и при этом более сложным типом задач классификации является задача многоклассовой классификации.

Одним из известных алгоритмов обучения с учителем является SVM-алгоритм. Алгоритм машины опорных векторов (*Support Vector Machine, SVM*) [7-12, 15-21] достаточно популярен и востребован в области машинного обучения, поскольку позволяет оптимизировать построение разделяющей гиперплоскости (*OSH*) между двумя классами и обеспечивает разделение данных вне зависимости от их распределения в исходном пространстве характеристик (классификация в случаях отсутствия линейной делимости объектов), при этом характеризуется высоким качеством обобщения [17]. SVM-алгоритм находит применение в различных областях интеллектуального анализа данных: анализ текста, распознавание фонем, классификация изображений, биоинформатика и т. д. [17].

Математическое описание SVM-алгоритма было

первоначально разработано для бинарной классификации, ввиду чего актуальна проблема исследования для случая многоклассовой SVM-классификации.

SVM-классификатор может применяться при решении задачи многоклассовой классификации с использованием декомпозиционных подходов, обеспечивающих переход от задачи классификации на множество классов к нескольким задачам бинарной классификации: «один против всех» (*One-Against-All (OAA)*), или *One-vs.-All (OvA)*, или *One-vs.-Rest (OvR)*, далее – *OvR*); «один против одного» (*One-vs.-One, (OvO)*) [8, 9]; *Pair wise Fuzzy (SVM)* [10]; *Directed Acyclic Graph Support Vector Machines (DAG)* [11]; *Weighted DAG SVM (WDAG SVM)* [12] и др.

Однако применение SVM-классификатора в сочетании с декомпозиционными методами зачастую не обеспечивает приемлемого качества многоклассовой классификации, в частности, если объекты разных классов сильно перемешаны в наборе данных [12].

В машинном обучении благодаря гибкости и обобщающей способности широкое применение находят ансамбли алгоритмов. К популярным методам ансамблирования относятся такие методы как: бэггинг (*bagging*), бустинг (*boosting*) и стекинг (*stacked generalization, stacking*) [13, 14].

В задаче классификации под ансамблированием подразумевается использование композиции нескольких классификаторов с целью получения лучшего качества классификационного решения по сравнению с качеством решения каждого отдельно взятого классификатора. При этом предполагается, что за счет различных способов комбинирования и объединения ответов базовых классификаторов компенсируются ошибки каждого из них и достигается приемлемое качество решения в ансамбле.

Цель работы состоит в разработке методов повышения качества многоклассовой SVM-классификации на основе применения принципов ансамблирования.

С этой целью представлены четыре ансамблевых метода классификации, основанных на использовании идей стекинга и генерации метахарактеристик при нескольких разбиениях обучающей выборки, проведен сравнительный анализ разработанных методов с использованием различных методов ансамблирования алгоритмов: бэггинга, бустинга, стекинга, а также метода блендинга (*blending*) [13, 14].

**Материалы и результаты исследования.** Основная идея стекинга заключается в использовании разнородных базовых алгоритмов для применения их ответов в качестве метахарактеристик при обучении некоторого «обобщающего» алгоритма (метаалгоритма).

В разработанных методах в качестве метаклассификатора предлагается использовать композицию бинарных SVM-классификаторов на основе того или иного декомпозиционного метода решения задачи многоклассовой классификации: «один против всех», «один против одного».

В разработанных методах производится несколько



разбиений ( $t = \overline{1, T}$ ) обучающей выборки на  $K$  блоков, после чего объединяются ответы базовых классификаторов для каждого  $k$ -го блока ( $k = \overline{1, K}$ ). Таким образом, множество разбиений обучающей выборки представлено в виде  $\{(Z_k, Y_k), k = \overline{1, K}, t = \overline{1, T}\}$ .

Пусть  $b_{wt} \in B$  – базовый классификатор из множества  $B = \{b_{1t}, b_{12t}, \dots, b_{2t}, b_{22t}, \dots, b_{wt}\}$ , обеспечивающий генерацию метахарактеристик, построен на основе  $w$ -го ( $w = \overline{1, W}$ ) базового алгоритма со значениями параметров, соответствующими  $t$ -му ( $t = \overline{1, T}$ ) разбиению обучающей выборки;  $B_t \subset B$  – подмножество классификаторов, используемое на  $t$ -м разбиении обучающей выборки.

**1. DGM-1-метод.** Для каждого  $t$ -го ( $t = \overline{1, T}$ ) разбиения обучающей выборки реализуется построение одного базового классификатора из множества  $B(b_{wt} \in B)$  и использование его ответов в качестве метахарактеристик для обучения другого базового классификатора при  $(t+1)$ -м разбиении обучающей выборки. Метаклассификатор обучается на основе исходного набора характеристик обучающей выборки и метахарактеристик, полученных при реализации последнего ( $t=T$ )-го разбиения обучающей выборки.

**2. DGM-2-метод.** Для каждого  $t$ -го ( $t = \overline{1, T}$ ) разбиения обучающей выборки строится подмножество классификаторов  $B_t \subset B$  и используется усреднение их ответов в качестве метахарактеристик для обучения другого множества базовых классификаторов  $B_{t+1} \subset B$  при  $(t+1)$ -м разбиении обучающей выборки. Метаклассификатор обучается на основе исходного набора характеристик обучающей выборки и метахарактеристик, полученных при усреднении ответов базовых классификаторов на последнем ( $t=T$ )-м разбиении обучающей выборки.

**3. IGM-1-метод.** Для каждого  $t$ -го ( $t = \overline{1, T}$ ) разбиения обучающей выборки с помощью кросс-валидации проводится оценка классификаторов из подмножества  $B_t \subset B$  и выбор для генерации метахарактеристик классификатора с лучшим значением оценки перекрестной проверки. Метаклассификатор обучается на основе исходного набора характеристик обучающей выборки и метахарактеристик, полученных при усреднении ответов базовых классификаторов при различных  $t$ -ых разбиениях обучающей выборки.

**4. IGM-2-метод.** Для каждого  $t$ -го ( $t = \overline{1, T}$ ) разбиения обучающей выборки с помощью кросс-валидации проводится оценка классификаторов из подмножества  $B_t \subset B$ . При  $(t+1)$ -м разбиении обучающей выборки увеличивается число построенных классификаторов на основе того алгоритма, который использовался при построении классификатора с лучшей оценкой перекрестной проверки на предыдущем  $t$ -м разбиении обучающей выборки. Метаклассификатор обучается на основе исходного набора характеристик обучающей выборки и метахарактеристик, полученных при усреднении ответов базовых классификаторов при различных  $t$ -ых разбиениях обучающей выборки.

Таким образом, DGM-1 и DGM-2-методы реали-

зуют обучение базовых классификаторов с использованием метахарактеристик на основе ответов базовых классификаторов с предыдущего разбиения обучающей выборки (*dependent generation of metacharacters, DGM*). При реализации IGM-1 и IGM-2-методов предполагается, что создание метахарактеристик происходит независимо на разных разбиениях обучающей выборки (*independent generation of metacharacters, IGM*). Оценка перекрестной проверки, используемая в IGM-1 и IGM-2-методах, представляет собой усредненную ошибку по всем  $k$  ( $k = \overline{1, K}$ ) блокам на текущем  $t$ -м ( $t = \overline{1, T}$ ) разбиении обучающей выборки.

При реализации разработанных методов многоклассовой классификации в качестве базовых алгоритмов выбраны различные ансамблевые алгоритмы на основе бэггинга и бустинга: алгоритм случайного леса (*random forest*), *AdaBoost*-, *XGBoost*-алгоритмы.

Сравнение разработанных методов проводилось на основе значений показателя сбалансированной точности (*balanced accuracy, BA*) для четырех тестовых наборов данных: 3 набора данных из репозитория *UCI Machine Learning Repository* и один набор данных соревнования по машинному обучению с платформы *Kaggle*.

Базовая формула расчета показателя для бинарной классификации имеет вид

$$BA = \frac{1}{2} \left( \frac{TP}{TP + FN} + \frac{TN}{TN + FP} \right) \quad (1)$$

где  $TP$  – число истинно положительных наблюдений;  $TN$  – число истинно отрицательных наблюдений;  $FP$  – число ложноположительных наблюдений;  $FN$  – число ложноотрицательных наблюдений. Показатель сбалансированной точности  $BA$  отличается от показателя общей точности (общей доли правильных ответов) тем, что при его расчете учитывается доля объектов в каждом из классов. Соответственно показатель  $BA$  отражает наиболее достоверную оценку качества классификации наборов данных с несбалансированными классами [15].

На рисунке 1 представлены графики для тестовых наборов данных с отражением числа экспериментов, в которых соответствующий метод продемонстрировал лучшие результаты среди остальных разработанных методов. На рисунке 2 представлены результаты сравнительного анализа методов для всех проведенных экспериментов. Поскольку для каждого набора данных было произведено по 5 экспериментов, в идеале для каждого разработанного метода а) на рисунке 1 максимальное количество экспериментов по одному набору данных составило бы число 15, б) на рисунке 2 общее количество экспериментов составило бы в сумме число 60.

В таблице 1 приведены значения показателя сбалансированной точности при реализации многоклассовой классификации на основе различных ансамблевых методов. Результаты таблицы 1 позволяют утверждать, что по сравнению с аналогами (многоклассовой SVM-классификацией на основе декомпозиционных методов *OvR* и *OvO* (*SVM\_ovo*, *SVM\_ovr*),



многоклассовой классификацией с использованием методов бэггинга и бустинга (*RF, AdaBoost, XGBoost*), с многоклассовой классификацией на основе методов стекинга и блендинга (*stacking, blending*), предложенные методы многоклассовой классификации (*DGM-1, DGM-2, IGM-1, IGM-2*) обеспечивают лучшие значения показателя ВА.

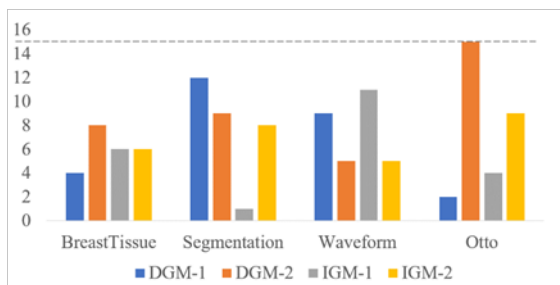


Рисунок 1 – Сравнительный анализ разработанных методов для тестовых наборов данных

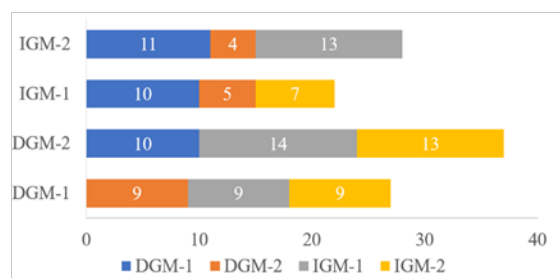


Рисунок 2 – Общий сравнительный анализ методов

Таблица 1 – Результаты многоклассовой классификации

Набор данных	SVM_ovo	SVM_ovr	RF	AdaBoost	XGBoost	blending	stacking	DGM-1	DGM-2	IGM-1	IGM-2
BreastTissue	83,05	83,05	90,64	89,66	-	84,83	92,33	95,19	97,56	95,89	96,25
Segmentation	92,92	92,92	93,26	88,59	-	95,84	95,50	97,30	96,90	96,23	97,07
Waveform	85,13	85,13	85,53	-	85,66	84,89	85,47	86,05	85,90	86,14	85,96
Otto	60,03	60,03	63,54	-	66,08	59,87	64,27	68,18	69,87	68,74	69,36

**Заключение.** К преимуществам разработанных методов многоклассовой классификации по сравнению с аналогами следует отнести использование нечеткой оценки принадлежности объектов к классам при получении значений метаякхарактеристик, проведение оценки базовых классификаторов посредством кросс-валидации.

По сравнению с методом стекинга в разработанных методах при получении значений метаякхарактеристик для объектов тестовой выборки проводится обучение базовых классификаторов на том же объеме обучающей выборки, что и при генерации метаякхарактеристик для объектов обучающего набора. В отличие

от метода блендинга разработанные методы обеспечивают эффективное использование всего объема обучающей выборки при построении метаклассификатора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дюк, В. А. Data mining: учебный курс / В. А. Дюк, А. П. Самойленко. – СПб.: Питер, 2001. – 368 с.
2. Барсегян, А. А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. Учеб. пособие. 2-е изд. / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХ-Петербург, 2007. – 384 с.
3. Дьяков, О. А. Особенности применения методов Data Mining в скоринговых решениях для коммерческих банков / О. А. Дьяков // Научные записки молодых исследователей. – 2017. – №3 – С. 5–11.
4. Загоруйко, Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н. Г. Загоруйко. – Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
5. Воронцов, К. В. Комбинаторные оценки качества обучения по прецедентам / К. В. Воронцов // Докл. РАН. – 2004. – Т. 394, № 2. – С. 175–178.
6. Воронцов, К. В. Комбинаторный подход к оценке качества обучаемых алгоритмов / К. В. Воронцов // Математические вопросы кибернетики / Под ред. О. Б. Лупанов. – М.: Физматлит. – 2004. – Т. 13. – С. 5–36.
7. Vapnik, V. Statistical Learning Theory / V. Vapnik. – New York: John Wiley & Sons, 1998. – 734 p.
8. Hsu, C. W. A comparison of methods for multiclass support vector machines / C. W. Hsu, C. J. Lin // IEEE Trans. Neural Networks. – 2002. – 13 (2) – P. 415–425.
9. Huang, P. X. Individual feature selection in each One-versus-One classifier improves multi-class SVM performance / P. X. Huang, R. B. Fisher // Reference Source. – 2014. – P. 98–103.
10. Abe, S. Fuzzy Support Vector Machines for Multiclass Problems / S. Abe, T. Inoue // ESANN'2002 proceedings – European Symposium on Artificial Neural Networks. – Bruges (Belgium), 2002. – P. 113–118.
11. Platt, J. Large margin DAGs for multiclass classification / J. Platt, N. Cristianini, J. Shawe-Taylor // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2000. – Vol. 12. – P. 547–553.
12. Sabzekear, M. Improved DAG SVM: A New Method for Multi-Class SVM Classification / M. Sabzekear, M. Ghasemigol, M. Naghibzadeh, H. S. Yazdi // Int'l Conf. Artificial Intelligence (ICAI'09). – Las Vegas (USA), 2009. – Vol. 2. – P. 548–553.
13. Гушин, А. Е. Методы ансамблирования обучающихся алгоритмов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/5/56/Guschin2015Stacking.pdf> (дата обращения 03.06.2021).
14. Дьяконов, А. Г. Стекинг (Stacking) и блендинг (Blending) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dyakonov.org/2017/03/> (дата обращения 03.06.2021).
15. Klyueva, I. The two-stage classification based on 1-SVM and RF classifiers / L. Demidova, I. Klyueva // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1727. – P. 012007.
16. Демидова, Л. А. Разработка ансамблей SVM-классификаторов / Л. А. Демидова, Ю. С. Соколова // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: сборник статей XXXIV Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2015. – С. 57–61.
17. Ключева, И. А. Повышение качества многоклассовой SVM-классификации на основе feature engineering / И. А. Ключева // Cloud of science. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 207–218.
18. Klyueva, I. Improving Quality of the Multiclass SVM Classification Based on the Feature Engineering / I. Klyueva // 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA-2019). – Lipetsk, 2019. – P. 491–494.
19. Klyueva, I. Intellectual Approaches to Improvement Of the Classification Decisions Quality On the Base Of the SVM Classifier / L. Demidova, I. Klyueva, Y. Sokolova, N. Stepanov, N. Tyart // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 103. – P. 222–230.
20. Klyueva, I. Hybrid approach to improving the results of the SVM classification using the random forest algorithm / L. Demidova, I. Klyueva, A. Pytkin // Procedia Computer Science. – 2019. – Vol. 150. – P. 455–461.
21. Ключева, И. А. Алгоритм случайного леса в задаче повышения качества SVM-классификации / Л. А. Демидова, И. А. Ключева // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018. – № 65. – С. 74–83.

Статья поступила в редакцию 16.05.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 577.15:663.12(045)

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0020

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ  $\beta$ -ГЛЮКАНОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ В КАЧЕСТВЕ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК. ОБЗОР**

© 2021

**Школьникова Марина Николаевна**, доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры технологий питания  
**Пonomarev Аркадий Сергеевич**, аспирант  
*Уральский государственный экономический университет*  
(620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62,  
e-mails: shkolnikova.m.n@mail.ru, arkadiy.ponomarev.69@mail.ru)

**Аннотация.** Профилактическая направленность и технологические свойства  $\beta$ -глюкан определяются многими факторами, объединяет которые источник его получения, в частности природный: зерно овса посевного (*Avéna satíva*) и ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare*), а также отруби, грибы вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) и шиитаке (*Lentinus edodes*), дрожжевые клетки хлебопекарных (*Saccharomyces cerevisiae*) и пивных (*Saccharomyces pastorianus*) дрожжей, в том числе отработанных. Пищеварительная система человека не может эффективно и полноценно усваивать  $\beta$ -глюканы непосредственно из сырья, поэтому практически обоснованно и коммерчески выгодно получать пищевые добавки в виде концентратов  $\beta$ -глюкана. Систематизированы сведения по технологическим свойствам и применению концентратов  $\beta$ -глюканов из различных сырьевых источников в технологии продуктов питания. Установлено, что перечень продуктов питания ежедневного рациона, содержащих концентраты  $\beta$ -глюкана, довольно разнообразен и представлен хлебом, молочными и мясными изделиями, эмульсионными соусами, безалкогольными напитками и др. Наиболее часто применяется концентрат  $\beta$ -глюкана из зерновых культур. Показано, что  $\beta$ -глюкансодержащие концентраты обладают способностью удерживать влагу, стабилизировать консистенцию, проявляют антиоксидантные и консервирующие свойства, способствуют удержанию аромата и сохранению цвета продукта, что обуславливает их применение в качестве пищевых добавок в составе продуктов питания ежедневного рациона.

**Ключевые слова:**  $\beta$ -глюкан, источники получения, технологические свойства, физиологическая активность, концентрат  $\beta$ -глюкана, пищевая добавка, продукты питания.

**APPLICATION OF  $\beta$ -GLUCAN CONCENTRATES FROM VARIOUS RAW SOURCES AS FOOD ADDITIVES. REVIEW**

© 2021

**Shkolnikova Marina Nikolaevna**, doctor of Technical Sciences, associate professor,  
professor Department of «Food Technologies»  
**Ponomarev Arkady Sergeevich**, postgraduate student  
*Ural State University of Economics*  
(620144, Russia, g. Ekaterinburg, March 8/ Narodnaya Volya st., 62/45,  
e-mails: shkolnikova.m.n@mail.ru, arkadiy.ponomarev.69@mail.ru)

**Abstract.** The prophylactic orientation and technological properties of  $\beta$ -glucan are determined by many factors, which unite the source of its production, in particular the natural one: grain of sowing oats (*Avéna satíva*) and common barley (*Hordeum vulgare*), as well as bran, common oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) and shiitake (*Lentinus edodes*), yeast cells of baker's (*Saccharomyces cerevisiae*) and brewer's (*Saccharomyces pastorianus*) yeast, including waste. The human digestive system cannot efficiently and fully assimilate  $\beta$ -glucans directly from raw materials; therefore, it is practically justified and commercially profitable to obtain food supplements in the form of  $\beta$ -glucan concentrates. Information on the technological properties and application of  $\beta$ -glucan concentrates from various raw material sources in food technology is systematized. It has been established that the list of food products of the daily diet containing  $\beta$ -glucan concentrates is quite diverse and is represented by bread, dairy and meat products, emulsion sauces, soft drinks, etc. The most commonly used  $\beta$ -glucan concentrate from cereals. It has been shown that  $\beta$ -glucan-containing concentrates have the ability to retain moisture, stabilize consistency, exhibit antioxidant and preservative properties, contribute to the retention of aroma and preservation of the color of the product, which determines their use as food additives in the composition of food products of the daily diet.

**Keywords:**  $\beta$ -glucan, sources of production, technological properties, physiological activity,  $\beta$ -glucan concentrate, food additive, food.

**Введение.** Многочисленными исследованиями доказано, что регулярное употребление продуктов питания, содержащих в своем составе  $\beta$ -глюкан, обеспечивает поддержание нормальной концентрации холестерина в крови в составе липопротеинов низкой

плотности, способствуя тем самым снижению риска за-болеваний сердечно-сосудистой системы; способствует снижению уровня глюкозы в крови после еды, уменьшая риск развития сахарного диабета II типа; способствует синтезу низкомолекулярных жирных

кис-лот, снижая риск возникновения рака толстой кишки; способствует развитию полезной микрофлоры кишечника (пребиотический эффект); улучшает иммунные функции организма [1–4].

Биологическое действие  $\beta$ -глиуканов определяется многими факторами, основные из которых: тип и конфигурация связей между остатками моносахаридов, разветвленность и конформация макромолекулы, степень ее полимеризации, растворимость в воде и др. [2]. Так, макромолекулы  $\beta$ -глиуканов зерновых культур имеют линейное строение и содержат блоки из остатков  $\beta$ -D-глиукопираноз, связанных  $\beta$ -(1→4)-гликозидными связями. Молекулы  $\beta$ -глиуканов дрожжей и грибов имеют разветвленное строение и состоят из остатков  $\beta$ -D-глиукопираноз, соединенных  $\beta$ -(1→3) гликозидными связями, а боковые ответвления соединены с основной цепью в положениях О-6 [5].

На сегодняшний день, в России  $\beta$ -глиукан входит в состав БАД к пище («Атероклефит Кисель», овсяный кисель «Царевичино», «Синхровитал III» и др.), основное назначение которых – снижение риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы и холестерина в крови человека. Кроме того, на российском рынке имеются продукты, в составе которых присутствует  $\beta$ -глиукан, – отруби, крупа, хлопья, что указано в маркировке потребительской тары. Например, производство ООО «ЮниФлэйкс» (г. Тольятти) создало линейку продукции под торговой маркой «Фермер Гуд», которая включает в себя овсяные хлопья из нешлифованной крупы с минимальной механической и термической обработкой овса, что, по словам изготовителей, обеспечивает целостность  $\beta$ -глиукана и делает хлопья более полезными. Компания CLARUS, занимающаяся производством отрубей, хлопьев и муки из овса, выращенного в Алтайском крае, тоже упоминает о том, что их продукты обязаны своей пользой  $\beta$ -глиукану и в их продуктах он сохранился в наибольшем количестве. На ООО ПФ «Радуга» внедрена технология «Концентрат овсяной из отрубей с повышенным содержанием Бета-глиукана 22%», присутствующий на потребительском рынке.

Известно, что концентратам  $\beta$ -глиукана свойственны и определенные технологические свойства – загуститель и стабилизатор консистенции, влагоудерживающий агент, антиоксидант и др. что позволяет рассматривать использование  $\beta$ -глиуканосодержащих концентратов в различных пищевых системах. Исследование наличия концентратов  $\beta$ -глиукана из различных видов сырья в составе продуктов питания и определение их основных технологических свойств для обоснования использования в качестве пищевых добавок, обладающих функциональной направленностью, является целью данной статьи.

**Материалы и результаты исследований.** Объектами исследования явились современные научные статьи крупнейших мировых баз данных *ISI Web of Knowledge*, *Science Direct* и *Google Scholar* по использованию концентратов  $\beta$ -глиукана из различных сырьевых источников в составе продуктов питания.

Исследование выполнено аналитическими методами – тематический поиск и анализ источников, что позволило систематизировать полученные сведения по технологическим свойствам и применению концентратов  $\beta$ -глиуканов из различных сырьевых источников в технологии продуктов питания.

В настоящее время известна  $\beta$ -глиуканосодержащая пищевая добавка E 411 овсяная камедь (*Oat Gum*), используемая как стабилизатор и/или загуститель консистенции продуктов. К настоящему моменту отмечается тенденция на производство не изолированных биологически активных веществ, а их комплексов, – концентрата, который обеспечит организм человека сразу несколькими биологически важными для человека компонентами.

На рынке присутствует несколько изготовителей концентрата  $\beta$ -глиукана из зернового сырья для производства продуктов питания: овсяных: *PromOat*<sup>TM</sup> (Швеция), содержащий до 36%  $\beta$ -глиукана, *Nature*<sup>®</sup> 1500 с содержанием  $\beta$ -глиукана 15% и *Natureal*<sup>®</sup> – 20% (США), овсяно-ячменных: *Viscofiber*<sup>®</sup> (Канада), ячменных: *Glucagel*<sup>®</sup> (Новая Зеландия) и др. [6–8]. Приведенные примеры –  $\beta$ -глиуканосодержащие гидроколлоиды, используемые в основном в качестве текстурирующего агента в пищевых продуктах, где он полностью или частично заменяют жир, произведены за рубежом из зернового сырья. Наряду с зерном овса посевного (*Avéna satíva*) и ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare*), природными источниками  $\beta$ -глиукана являются:

- овсяные отруби, в которых  $\beta$ -глиукана больше – 5–20%, тогда как в зерне овса – 2–6% [9];
- грибы, в частности вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) и шиитаке (*Lentinus edodes*) [2];
- дрожжевые клетки хлебопекарных (*Saccharomyces cerevisiae*) и пивных (*Saccharomyces pastorianus*) дрожжей, в том числе отработанных [10].

В виду того, что  $\beta$ -глиукан обладают доказанной физиологической активностью и технологическими свойствами и, согласно МР 2.3.1.1915-04 «Методические рекомендации. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ», суточная потребность в них составляет 1 мг,  $\beta$ -глиукан рекомендовано включать в ежедневный рацион, примеры продуктов которого систематизированы и приведены на рисунке 1.

Из приведенных на схеме рисунка 1 примеров видно, что перечень продуктов питания ежедневного рациона довольно разнообразен, и в их составе содержатся концентраты  $\beta$ -глиукана не только из зерновых культур, но и из биомассы пивных дрожжей и грибов вешенки обыкновенной.

Надо сказать, что в качестве источника  $\beta$ -глиукана многие авторы рассматривают частичную замену традиционного сырья овсяной мукой. Так, в рецептуре дрожжевого хлеба замена пшеничной муки в количестве 5–30% концентратом  $\beta$ -глиукана из зерна овса и ячменя замедлило процесс черствения опытного образца, однако с повышением содержания концентрата



уменьшается размер буханки и ухудшается состояние мякиша.

В работе *F. Temelli* и др. показано, что хлеб с  $\beta$ -глюканом давал дегустаторам более длительное ощущение сытости и уменьшение содержания глюкозы в крови при содержании  $\beta$ -глюкана не менее 6,7% [15]. При получении кускуса – часть манной крупы заме-

нена на обогащенную  $\beta$ -глюканом ячменную муку с содержанием крупной (40%) и мелкой фракций (60%) (контроль: кускус из манной крупы), что обусловило более высокое содержание в опытных образцах пищевых волокон 7,4–9,8% и  $\beta$ -глюкана 2,79–4,09% по сравнению с контролем – 3,61% и 0,18% соответственно [18].



Рисунок 1 – Продукты ежедневного рациона, содержащие концентраты  $\beta$ -глюкана

Однако, концентрат  $\beta$ -глюкана из зерновых культур, в частности овса, применяется наиболее часто. Так, в рецептуре безалкогольного напитка со вкусом апельсина используемая в качестве загустителя овсяная камедь с содержанием  $\beta$ -глюкана 85,63% в количестве 0,3%, 0,5% и 0,7% (контроль: напитки с пектином в количестве 0,3%, 0,5% и 0,7%) не только повысила густоту опытных образцов, показавших стабильность в хранении в течение более 12 недель без помутнения (по сравнению с контролем), но и снизило интенсивность кислотности опытных образцов [16].

В составе нежирного белого рассольного сыра из коровьего молока вносимая в количестве 0,7% и 1,4%  $\beta$ -глюкановая камедь с содержанием основного компонента 22,2% позволила снизить содержания жира на 70% (контроль: аналогичный сыр без добавления камеди  $\beta$ -глюкана). Кроме того, выход опытных образцов сыра с более высоким содержанием молочной и масляной кислот был выше и с улучшенной текстурой по сравнению с контролем. По совокупности восприятия органолептических характеристик оптимальное значение  $\beta$ -глюкановой камеди 0,7% [11].

В технологии сухого молочного напитка  $\beta$ -глюкановый концентрат выступил как консервант, способствующий сохранению внешнего вида и цвета сухого напитка в течение 180 сут. при  $T=10-25^{\circ}\text{C}$  [11]. В исследовании [14] установлено, что добавление

$\beta$ -глюкановой камеди из зерна ячменя с содержанием основного компонента 76,2% в количестве 0,3–0,8% в колбаски для завтрака с пониженным содержанием жира (12%) улучшило связывание воды, не влияя на структуру белка, на консистенцию и другие органолептические характеристики; опытные образцы аналогичны по твердости контрольным образцам с содержанием жира 22%.

В работе [19] установлено, что при внесении концентрата из овсяных отрубей с содержанием  $\beta$ -глюкана 10% *Nutrim-OB* №170 (США) в эмульсии майонезов 25, 15, 10 и 5%-ной жирности в количествах 1, 3, 4%, были получены густые, однородные эмульсионные системы, аналогичные традиционным майонезам.

Из отработанных пивных дрожжей получен концентрат  $\beta$ -глюкана в виде пасты светло-коричневого цвета с содержанием, %: влаги 93,37, жира 0,07, золы общей 0,04, белка 0,38, углеводов 6,13, используемый в рецептуре майонеза как стабилизатор эмульсии, заменитель жировой составляющей. Показано, что  $\beta$ -глюкан увеличивает стабильность и плотность консистенции опытного образца майонеза за счет повышения вязкости непрерывной фазы и стабилизации эмульсии. Содержание жира в опытном образце 40,0%, в контрольном 60,0% [18].

Полученный из пивных дрожжей экстракт с содержанием  $\beta$ -глюкана 59,15% обладал хорошими техно-



логическими свойствами, в частности: способностью связывать воду и жир – 13,34 г воды/1 г концентрата, 6,86 г жира/1 г концентрата, и антиоксидантное действие: перекисное окисление липидов в образцах линолевой кислоты снижалось в присутствии концентрата  $\beta$ -глюкана. По мнению авторов [17], полученные результаты и хорошие органолептические свойства – чистый цвет, приятные вкус и запах, открывают определенные перспективы использования концентрата  $\beta$ -глюкана, полученного из пивных дрожжей, в продуктах питания как общего, так и функционального назначения.

Надо сказать, что применение полученных из грибов вешенки обыкновенной концентратов  $\beta$ -глюкана ограничено. Известен дрожжевой хлеб из пшеничной муки, содержащий  $\beta$ -1,3/1,6-глюкан (из грибов вешенки обыкновенной) в количестве 2%, 1,4%, 1,0% и 0,6%. Анализ характеристик испеченного хлеба показал, что добавление к рецептуре теста грибного экстракта, содержащего бета-глюканы в концентрации 1 %, лишь менял цвет хлеба, делая его более коричневатым, увеличивал пористость мякиша и придавал ему несколько более кислый привкус, при этом вкус оставался приятным [12].

В работе [20] показано, что  $\beta$ -глюкан овса снижает секрецию желудочного сока, контролирует жировой обмен, способствует нормализации массы тела и оказывает тонизирующее воздействие, что делает возможным его использование в рецептурах кондитерских изделий для снижения их калорийности.

**Заключение.** Таким образом,  $\beta$ -глюкансодержащие концентраты обладают широким перечнем технологических свойств, удерживая влагу, стабилизируя консистенцию, проявляют антиоксидантные и консервирующие свойства, способствуют удержанию аромата и сохранению цвета продукта, подавляют аппетит за счет чувства насыщения и проявляют сорбционные свойства. В виду доказанной физиологической активности  $\beta$ -глюкана и перечню технологических свойств целесообразно применение содержащих его концентратов в составе продуктов питания ежедневного рациона как общего, так и специализированного/функционального назначения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лоскутов, И.Г. Селекция на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража (обзор) / И.Г. Лоскутов, В.И. Полонский // Сельскохозяйственная биология. – Т. 52. – 2017. – С. 646–657.
2. Zhu, F. Beta-glucans from edible and medicinal mushrooms: Characteristics, physicochemical and biological activities / Fengmei Zhu, Bin Du, Zhaoxiang Bian, Baojun Xu // Journal of Food Composition and Analysis. – 2015. – V. 41. – P. 165–173. doi:10.1016/j.jfca.2015.01.019.
3. Lam, K-L. Non-digestible long chain beta-glucans as novel prebiotics / Ka-Lung Lam, Peter Chi-Keung Cheung // Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. – 2013. – V. 2(1). – P. 45–64. doi:10.1016/j.bcdf.2013.09.001.
4. Naumann, E.  $\beta$ -Glucan incorporated into a fruit drink effectively lowers serum LDL-cholesterol concentrations / E. Naumann, A.-B. van Rees; G. Önnings, R. Öste, M. Wydra, R.-P. Mensink // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2006. – V. 83(3). – P. 601–605. doi:10.1093/ajcn.83.3.601.

5. Syed Haris, A. The world of  $\beta$ -glucans – a review of biological roles, applications and potential areas of research. Thesis for the requirement of master of Science / H.A. Syed // Medical Biology. – 2009. – P.13-18. <https://hdl.handle.net/10037/2133>.

6. Sanghoon, K. Content and Molecular Weight Distribution of Oat  $\beta$ -Glucan in Oatrim, Nutrim, and C-Trim / K. Sanghoon, E. George, S.X. Inglett, S.X. Liu // Products. – 2008. – Vol. 85(5). – P. 701-705.

7. Rodriguez, R. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients / R. Rodriguez, A. Jimenez, J. F. Bolanos, R. Guillen, A. Heredia // Trends in Food Science & Technology. – 2006. – Vol. 17. – P. 3–15.

8. Fengmei, Z.A. Critical review on production and industrial applications of beta-glucans / Z. Fengmei, D. Bin, X. Baojun // Food Hydrocolloids. – 2016. – Vol. 52. – P. 275-288.

9. Asif, A. Extraction and characterization of  $\beta$ -D-glucan from oat for industrial utilization / A. Asif, M.-A. Faqir, Z. Tahir, N. Haq, A. Zaher // International Journal of Biological Macromolecules. – 2010. – № 46. – P. 304–309. doi:10.1016/j.ijbiomac.2010.01.002.

10. Santipanichwong, R. Carotenoids as colorants in reduced-fat mayonnaise containing spent brew-er's yeast  $\beta$ -glucan as a fat replacer / R. Santipanichwong, M. Suphantharika // Food Hydrocolloids. – 2007. – V. 21(4). – P. 565–574. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.07.003.

11. Lazaridou, A. Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects / A. Lazaridou, C.G. Biliaderis // Journal of Cereal Science. – 2007. – V. 46. – P. 101–118. doi:10.1016/j.jcs.2007.05.003.

12. Фриуи, М. Влияние грибного экстракта, содержащего бета-глюканы, на реологические характеристики хлебного теста / М. Фриуи, Л. Гачеу, О. Опря, М.М. Шаммян // Вестник Международной академии холода. – 2018. – № 3. – С. 53–61. DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-3-53-61.

13. Elke, N.  $\beta$ -Glucan incorporated into a fruit drink effectively lowers serum LDL-cholesterol concentrations / N. Elke, A. B. van Rees, G. Önnings, R. Öste, N. Wydra, R. Mensink (2006). The American Journal of Clinical Nutrition. – 2006. – V. 83(3). – P. 601–605. doi:10.1093/ajcn.83.3.601/.

14. Moriarty, S. E. Barley  $\beta$ -glucan in bread: the journey from production to consumption: A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Food Science and Technology Department of Agricultural, Food and Nutritional Science. – Edmonton (Canada), 2009. – 228 p.

15. Temelli, F. Development of an Orange-Flavored Barley  $\beta$ -Glucan Beverage / F. Temelli, C. Bansema, K. Stobbe // Cereal Chemistry. – 2004. – V. 81(4). – P. 499–503. doi:10.1094/CCHEM.2004.81.4.499.

16. Singh, S. Change in color & appearance of  $\beta$ -Glucan fortified instantized RTS milk beverage powder / S. Singh and R.-K. Pandey // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2018. – V.7(4). –P. 1427-1428.

17. Kováčová, M. Preparation and characteristics of beta-glucan concentrate from brewer's yeast as the additive substance in foods / M. Kováčová, L. Dodok, L. Zofajová, L. Mikuš // POTRAVINARSTVO. – 2013. – V. 7, №. 1. – P. 144–149. DOI: <https://doi.org/10.5219/258>.

18. Messia, M. C. Development of functional couscous enriched in barley  $\beta$ -glucans / M.-C. Messia, M. Oriente, M. Angelicola, E. De Arcangelis, E. Marconi // Journal of Cereal Science. – 2019. – V. 85. – P.137–142. doi:10.1016/j.jcs.2018.12.007.

19. Елисеева, Н.Е. Разработка технологий функциональных жировых продуктов эмульсионной природы с пищевыми волокнами и биологически активными веществами: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.06. – Москва, 2008. – 24 с.

20. Шатнюк, Л.Н. Инновационные ингредиенты для снижения калорийности кондитерских изделий / Л.Н. Шатнюк, О.В. Антипова // Пищевые ингредиенты, сырьё и добавки. – 2012. – №1. – С.45-47.

Статья поступила в редакцию 23.03.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 577.18:636.08

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0021

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЭЖХ-МС/МС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОВ ГРУППЫ АМФЕНИКОЛОВ В ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА**

© 2021

**Гармашов Сергей Юрьевич**, кандидат технических наук, научный сотрудник, научный сотрудник,*Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия**(650056, Россия, г. Кемерово, ул. Марковцева, д. 5, e-mail: sergei\_garmashov@mail.ru)***Чаплыгина Ольга Сергеевна**, аспирант,*Кемеровский государственный университет**(650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6, e-mail: chaplygina\_95@mail.ru)*

**Аннотация.** Антибиотики сегодня находят широкое применение как в лечении людей, так и в фермерских хозяйствах для кормления животных с целью предотвращения развития заболеваний, способствующих в некоторых случаях полному уничтожению поголовья и большим экономическим потерям. Однако не редки случаи, когда происходит злоупотребление в применении антибиотиков, что приводит к их накоплению в продуктах животного происхождения, которые поступают на прилавки магазинов. Употребление человеком таких продуктов способствует появлению и развитию резистентных бактерий, устойчивых к действию антимикробных препаратов. В конечном итоге это приведет к тому, что применение антибиотиков в лечении вирусных заболеваний будет бесполезным, а смертность даже от простых респираторных болезней вырастет в несколько раз. В этой связи важным является полный контроль содержания антибиотиков и их остатков в продукции животноводства, которое из-за неконтролируемого использования препаратов может превышать в несколько раз. На сегодняшний день известно несколько способов определения концентрации антибиотиков в продуктах, однако самым распространенным считается метод высокоэффективной хроматографии. В работе рассмотрена возможность применения методики высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором к анализу продукции животноводства на остаточное количество антибиотиков группы амфениколов: хлорамфеникол (ХАФ), флорфеникол (ФЛО), флорфеникол амин (ФЛО А). Была поставлена методика и исследовано наличие амфениколов в продукции животноводства, полученном от различных фермерских хозяйств. Из общего количества представленных образцов остатки амфениколов обнаружены в 21,5 % проб, что свидетельствует о несоответствии данного вида сырья действующему законодательству.

**Ключевые слова:** антибиотики, амфениколы, продукция животноводства, высокоэффективная жидкостная хроматография, постановка метода, хроматограмма

**USING THE HPLC-MS/MS METHOD TO DETERMINE THE ANTIBIOTICS AMPHENICOLS GROUP IN LIVESTOCK PRODUCTS**

© 2021

**Garmashov Sergey Yurievich**, candidate of technical sciences, researcher*Kuzbass State Agricultural Academy**(650056, Russia, Kemerovo, street Markovtseva, 5, e-mail: sergei\_garmashov@mail.ru)***Chaplygina Olga Sergeevna**, post-graduate student*Kemerovo State University**(650000, Russia, Kemerovo, street Krasnaya, 6, e-mail: chaplygina\_95@mail.ru)*

**Abstract.** Antibiotics today are widely used both in human treatment and in farm animal feeding in order to prevent the development of diseases that, in some cases, contribute to the complete destruction of livestock and large economic losses. However, it is common when antibiotics are abused and accumulated in animal products that hit store shelves. The use of such products by humans contributes to the emergence and development of resistant bacteria that are unsusceptible to the antimicrobial drug action. Ultimately, this will lead to the fact that the use of antibiotics in the treatment of viral diseases will be useless, and the mortality rate even from simple respiratory diseases will increase several times. In this regard, it is important to fully control the antibiotics and their residues content in livestock products, which can exceed several times due to the uncontrolled use of drugs. Now several methods are known for determining the concentration of antibiotics in products, but the most common is the method of high performance chromatography. The paper considers the possibility of applying the HPLC technique with a mass spectrometric detector to analyze livestock products for the residual amount of amphenicol group antibiotics: chloramphenicol (CAP), florfenicol (FLO), florfenicol amine (FLO A). A methodology was set and the presence of amphenicols in livestock products obtained from various farms was determined. The remains of amphenicols were found in 21.5% of the total number of samples presented, which indicates the inconsistency of this type of raw material with the current legislation.

**Keywords:** antibiotics, amphenicols, livestock products, high performance liquid chromatography, method formulation, chromatogram

**Введение.** Антибиотики на протяжении длительного времени широко используются в медицине и животноводстве для лечения инфекционных болезней у людей и животных с целью подавления роста болезнетворных бактерий. Тем не менее из всего разнообразия антибиотиков только 20% применяются в лечении больных животных, остальные 80% используются в качестве, так называемых, производственных инструментов: для предотвращения болезней, возникающих в результате обращения с животными во время разведения, а также для стимулирования роста и развития животных [1, 2].

В животноводстве антибиотики обычно используются:

- для терапевтического применения, когда животным (индивидуально или небольшими группами) вводят высокие дозы антибиотиков в течение относительно короткого периода времени;
- для профилактического использования, включающее воздействие на животных умеренными дозами противомикробных препаратов в течение более длительного времени;
- стимуляции роста, когда антибиотики в субтерапевтических дозах вводятся в течение довольно длительного времени или на протяжении всей жизни животных [2 – 4].

В последнем случае нельзя исключать запрещенное использование антибиотиков в течение длительного периода времени или использования не по назначению, а в некоторых случаях и без необходимости [5].

Повсеместное применение антибиотиков постепенно привело к тому, что современная медицина и животноводство находятся в полной зависти от наличия у них антибиотиков. Такая зависимость привела к интенсивному, а иногда и неосмотрительному использованию антибиотиков [6, 7].

Поскольку во многих развивающихся странах традиционное подсобное хозяйство и интенсивное животноводство является обычной практикой, а фермеры имеют легкий доступ к ветеринарным препаратам и лекарствам, широко распространено неизбирательное и несоответствующее применение более высоких доз противомикробных препаратов, что в конечном итоге приводит к накоплению вредных остатков в организме. Эти остатки могут включать неизмененные исходные соединения, входящие в состав антибиотиков, а также их метаболиты, которые при накоплении в организме оказывают косвенное или прямое токсическое воздействие на человека и, как следствие, окружающую среду [1, 4].

Злоупотребление антибиотиками в животноводстве и их присутствие в продуктах питания животного происхождения вызывают озабоченность мирового научного сообщества из-за развития устойчивости патогенных бактерий к разного рода антибиотикам, появлению индуцированных аллергических реакций у некоторых гиперчувствительных людей, потенциального нарушения работы кишечной и иммунной

систем человека [8, 9]. Наличие остатков антимикробных препаратов в пищевых продуктах животного происхождения, превышающих максимальные уровни или пределы, признано во всем мире важной угрозой безопасности здоровья населения планеты [10]. Согласно статистике Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) неконтролируемое применение антибиотиков приводит к тому, что ежегодно во всем мире от неизлечимой бактериальной инфекции умирает более миллиона человек по всему миру.

В связи со сложившейся ситуацией продукты животного происхождения должны контролироваться на предмет остаточных количеств антибиотиков в продуктах путем обеспечения соблюдения максимально допустимого количества их остатков [2]. На сегодняшний день известно большее количество препаратов антимикробного действия, которые интенсивно применяются для кормления животных на производственных фермах и агрохолдингах. Одним из основных антибиотиков, используемым при кормлении животных, является антибиотик группы амфениколы [11, 12, 13].

Амфениколы – группа высокоэффективных химических соединений, проявляющих антибактериальную активность, полученных путем химического синтеза. Хлорамфеникол и его аналоги, включая тиамфеникол и флорфеникол, являются разновидностями амфениколовых антибиотиков широкого спектра действия, которые широко используются в качестве противомикробных препаратов в медицине, ветеринарии, а также активно применяются в терапевтических целях в животноводстве [14 – 16].

Амфениколы проявляют широкий спектр активности против грамотрицательных и грамположительных бактерий, включая *Streptococcus spp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus spp.* и др., вызывающих развитие респираторных и кишечных заболеваний у домашнего скота за счет ингибирования биосинтеза белка путем связывания с рибосомными субъединицами чувствительных бактерий. Амфениколы эффективны против анаэробных микроорганизмов. Антибиотики данной группы действуют, ингибируя синтез белка, связываясь с рибосомными субъединицами чувствительных бактерий, что приводит к ингибированию пептидилтрансферазы, предотвращая перенос аминокислот в растущие пептидные цепи и последующее образование белка [12, 17].

В Российской Федерации разрешено применение данного вида антибиотиков при условии его отсутствия в продуктах питания. Однако хлорамфеникол очень часто используется нелегально, что приводит к его обнаружению в молоке, молочных продуктах, мясе и продукции птицеводства [6, 18, 19].

Хлорамфеникол – природный антибиотик, выделенный из почвенной бактерии *Streptomyces venezuelae*. Из-за серьезных побочных эффектов и подозрений на развитие канцерогенеза в настоящее время его запрещено использовать для лечения сельскохозяйственных животных в странах ЕС, США и



Китае, а также в других регионах [19]. Однако он все еще используется для лечения небольшого числа инфекций в клинических условиях.

Несколько синтетических аналогов левомицетина, а именно тиамфеникол и флорфеникол, были разработаны и используются в настоящее время [5, 20]. Флорфеникол является антибиотиком широкого спектра действия и обладает активностью против некоторых штаммов бактерий, устойчивых к хлорамфениколу и тиамфениколу. Широко используется в водных хозяйствах, а также для борьбы с респираторными заболеваниями КРС [6, 20].

К сожалению, чрезмерное использование амфениколов и любых других антибиотиков продуктах и отходах животного происхождения наносит непоправимый вред окружающей среде, загрязняя воду и почву и оказывая угрозу экологической безопасности.

Определение концентрации амфениколов в пищевых продуктах в основном осуществляется с применением физико-химических методов, в частности методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Физико-химические методы чрезвычайно чувствительны и способны обнаруживать остатки антимикробных и лекарственных препаратов в концентрациях менее  $\text{мкг/кг}^{-1}$ .

**Цель исследований** – установление пригодности и валидация методики высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором для определения антибиотиков группы амфениколов в животноводческой продукции.

**Материалы и результаты исследований.** Для исследования использовали методику определения остаточного содержания сульфаниламидов, нитроимидазолов, пенициллинов, амфениколов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором в отделе хроматографических исследований по ГОСТ Р 54904-2012. Пробоподготовку проводили основываясь на утвержденных методиках.

Эксперимент проводили на хроматографе *Shimadzu* в соответствии с руководством по эксплуатации прибора.

Количественное определение остаточного содержания амфениколов проводили методом внутреннего стандарта по площади пика идентифицированных соединений при помощи градуировочной кривой. Детектирование анализируемых проб проводили в режиме регистрации выбранных реакций.

В качестве «чистых проб» выступала продукция животноводства, среди которой выделяли следующие матрицы: мясо (говядины, баранины, свинины, крольчатины, конины, птицы), мясная продукция (колбаса), молоко сырое; молочная продукция (творог); яйцо; субпродукты (печень, сердце, желудок).

Постановку методики выполняли при соблюдении следующих параметров: температура окружающего воздуха –  $20^\circ\text{C}$ ; атмосферное давление 90 кПа; относительная влажность воздуха – 55%.

На втором этапе исследований проводили анализ

48 проб продукции животноводства, полученной от различных фермерских хозяйств Кемеровской области, на содержание остаточного количества антибиотиков группы амфениколов: хлорамфеникол (ХАФ), флорфеникол (ФЛО), флорфеникол амин (ФЛО А). Для эксперимента брали по 8 проб каждой матрицы. Исследования проводили с декабря 2020 г. по февраль 2021 г.

Постановка методики проводилась по следующим параметрам: правильность (истинность/восстановление), повторяемость, воспроизводимость, линейность, по результатам которой было определено время выхода каждого из амфениколов, мин: ХАФ – 4,543; ФЛО – 4,461; ФЛО А – 3,271 (рис. 1).

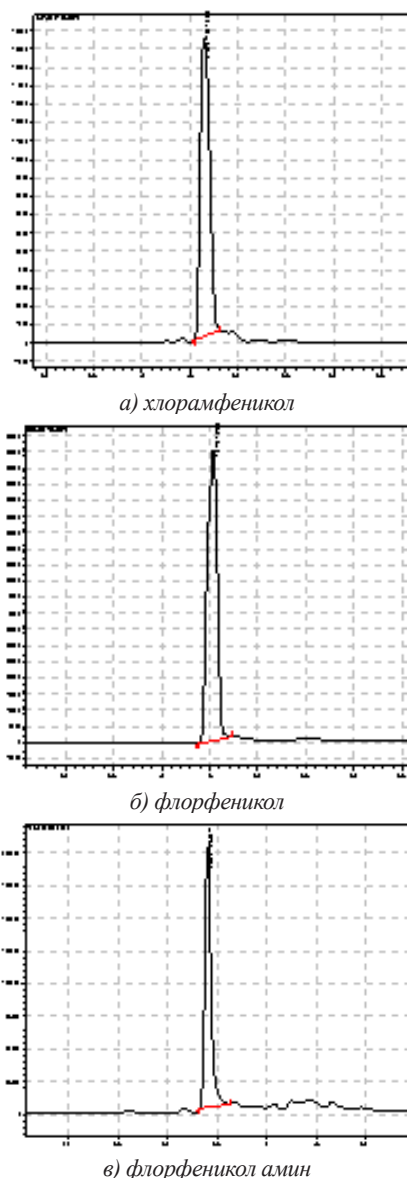


Рисунок 1 – Хроматограмма стандартных образцов антибиотиков группы амфениколы

Истинность метода устанавливали сертифицированным эталонным материалом (*CRM*) путем количественного измерения компонентов. Для определения истинности проводили 6 повторов *CRM* в соответствии с нормативными критериями.



Обобщенные данные по оценке истинности метода указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка правильности метода ВЭЖХ-МС/МС

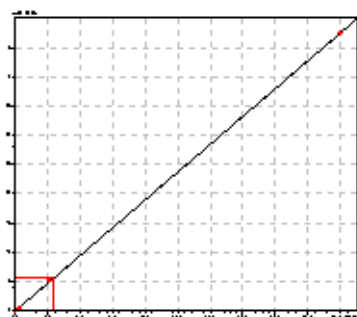
Уровень концентрации, мкг/кг	Среднее значение восстановления, %	Допустимые значения	Компоненты
C1 = 0,20	98	от -50% до + 20%	ХАФ
C1 = 50	97	от -20% до + 10%	ХАФ
	94		ФЛО
	88		ФЛО А
C2 = 0,30	99	от -50% до + 20%	ХАФ
C2 = 100	96	от -20% до + 10%	ХАФ
	97		ФЛО
	95		ФЛО А
C3 = 0,45	87	от -50% до + 20%	ХАФ
C3 = 150	93	от -20% до + 10%	ХАФ
	91		ФЛО
	95		ФЛО А

Как показано в таблице 1, по всем концентрациям среднее значение восстановления находится в пределах допустимых значений, что подтверждает точность и истинность метода ВЭЖХ-МС/МС.

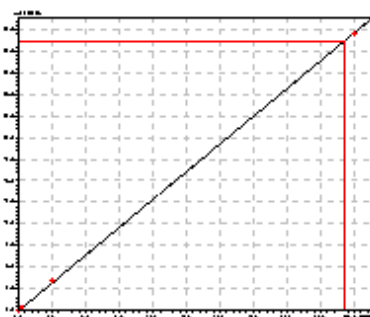
Повторяемость данной методики определяли исследованием (6 повторов) продукции животноводства путем добавления антибиотиков группы амфениколы на трех различных уровнях концентрации: в 1; 1,5 и 2 раза больше минимального предела методики: 0,2; 0,3; 0,45 для ХАФ и 50, 100, 150 для ХАФ, ФЛО и ФЛО А.

Таблица 2 - Диапазон линейности метода

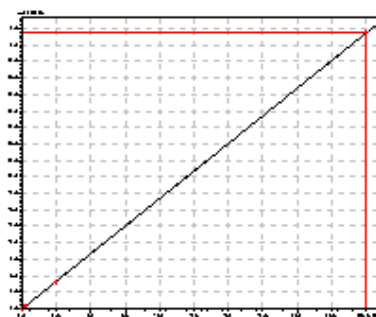
Матрица	Нитроимидазолы	Уравнение линейности	Коэффициент корреляции	Наблюдаемый диапазон линейности
Мясо	Хлорамфеникол	$9,45354 \times X + 0$	0,9999651	(0,2-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол	$6,20799 \times X + 0$	0,9999842	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол амин	$10,2556 \times X + 0$	0,9999942	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
Мясная продукция	Хлорамфеникол	$9,81344 \times X + 0$	0,9999176	(0,2-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол	$6,30712 \times X + 0$	0,9999997	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол амин	$9,22668 \times X + 0$	0,9999929	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
Молоко	Хлорамфеникол	$10,3430 \times X + 0$	0,9998776	(0,2-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол	$6,59222 \times X + 0$	0,9999348	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол амин	$8,96611 \times X + 0$	0,9999881	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
Молочная продукция	Хлорамфеникол	$10,6085 \times X + 0$	0,9999593	(0,2-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол	$6,48690 \times X + 0$	0,9999869	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол амин	$13,8261 \times X + 0$	0,9999532	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
Яйцо	Хлорамфеникол	$10,4550 \times X + 0$	0,9999467	(0,2-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол	$6,40252 \times X + 0$	1,0000000	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол амин	$10,5639 \times X + 0$	0,9998738	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
Субпродукты	Хлорамфеникол	$10,3313 \times X + 0$	0,9999936	(0,2-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол	$7,77527 \times X + 0$	0,9999473	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>
	Флорфеникол амин	$7,76559 \times X + 0$	0,9999896	(1-1000) нг/см <sup>3</sup>



а) хлорамфеникол



б) флорфеникол



в) флорфеникол амин

Рисунок 2 – График линейности методики

Коэффициент вариации – критерий оценки повторяемости. Установлено, что коэффициент вариации воспроизводимости для растворов с установленной концентрацией компонентов составил 38,6; 36,3; 34,2 для ХАФ и 16,8; 15,2; 14,3 для всех показателей. Согласно решению комиссии Таможенного Союза 2002/657/ЕС коэффициент вариации воспроизводимости должен быть не более межлабораторного коэффициента вариации. По результатам исследования межлабораторный коэффициент *RSDR* составил 57,7; 54,2; 51,0 для ХАФ и 25,1; 22,6; 21,3 для всех показателей. Полученные результаты соответствуют требованиям Таможенного Союза, что подтверждает правильность методики в условиях повторяемости.

С целью установления диапазона применения методики была определена линейность с использованием растворов рабочих стандартных образцов изучаемых компонентов. Линейность оценивали также в трех концентрациях рабочих стандартных образцов изучаемых компонентов. Оценка линейности методики осуществлялась с использованием коэффициента корреляции.

При построении градуировочной зависимости были получены уравнения линейности и коэффициенты корреляции для каждого из исследуемых показателей, которые представлены в таблице 2.

Можно говорить о подтверждении линейности, так как у каждой матрицы коэффициент корреляции стремится к 1 (рис. 2).

По результатам можно сделать вывод, что выбранная методика ВЭЖХ-МС/МС обладает точностью, правильностью и линейностью.

Далее в продукции животноводства определяли остаточное количество антибиотиков группы амфениколы на основании представленной выше методики. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Обнаружение остаточного количества антибиотиков группы амфениколы в продукции животноводства

Объект исследований	Амфениколы	Количество проб	Количество положительных проб
Мясо	ХАФ	8	2
	ФЛО		0
	ФЛО А		1
Мясная продукция	ХАФ	8	0
	ФЛО		0
	ФЛО А		0
Молоко сырое	ХАФ	8	3
	ФЛО		0
	ФЛО А		0
Молочные продукты	ХАФ	8	0
	ФЛО		0
	ФЛО А		0
Яйцо	ХАФ	8	2
	ФЛО		1
	ФЛО А		0
Субпродукты	ХАФ	8	2
	ФЛО		0
	ФЛО А		0

Согласно полученных результатов можно сделать вывод, что из всего количества образцов (56 проб) в 11 обнаружены остатки антибиотиков группы амфениколы (19,6%). Из них в 9 пробах обнаружены хлорамфениколы (мясо, молоко сырое, яйцо, субпродукты), в 1 пробе – флорфеникол амин (мясо) и флорфеникол (яйцо). В таких продуктах как мясная и молочная продукция антибиотики обнаружены не были.

**Заключение.** Метод определения остаточного содержания антибиотиков группы амфениколы с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором, соответствует требованиям 2002/657/ЕС европейской комиссии. Методика воспроизводима, отличается достоверностью и точностью и позволяет объективно оценить количественное содержание амфениколов в продуктах животного происхождения, что играет важную роль в обеспечении качества продукции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Determination of veterinary antibiotics in bovine urine by liquid chromatography-tandem mass spectrometry / L. Chiesa, M. Nobile, F. Arioli, D. Brittic, N. Trutic, R. Pavlovic, S. Panseri // Food Chemistry. – 2015. – V. 185. – P. 7-15.
2. Antimicrobial drug residues in poultry products and implications on public health: A review / M.D. Mund, U.H. Khan, U.Tahir, B.E.M. Asad Fayyaz // International Journal of Food Properties. – 2017. – V. 20 (7). – P. 1433-1446.
3. Havelaar, A.H. A summary index for antimicrobial resistance in food animals in the Netherlands/ Havelaar, A.H., Graveland, H., van de Kasstele, J. et al. // BMC Vet Res. - 2017. - №13 (305).
4. da Cunha, B.R. Antibiotic discovery: Where have we come

from, where do we go? / B.R. da Cunha, L.P. Fonseca, C.R.C. Calado // Antibiotics. – 2019. – V. 8 (2).

5. Ekakoro, J.E. Drivers, alternatives, knowledge, and perceptions towards antimicrobial use among Tennessee beef cattle producers: a qualitative study/ Ekakoro, J.E., Caldwell, M., Strand, E.B. et al. // BMC Vet Res. – 2019. – Vol. 15, 16.

6. Marshall, B.M. Food Animals and Antimicrobials: Impacts on Human Health / B.M. Marshall, S.B. Levy // Clinical Microbiology Reviews. – 2011. – V. 24(4). – P. 718-733.

7. Ezenduka, E.V. Detection of Antimicrobial Residues in Poultry: A Consequence of Non-Prudent Use of Antimicrobials / E.V. Ezenduka, O.S. Ike, N.J. Anaelom // Health. – 2014. – V. 6(2). – V. 149-152.

8. Hendrickson O.D. Development of a double immunochromatographic test system for simultaneous determination of lincomycin and tylosin antibiotics in foodstuffs / Hendrickson OD, Zvereva EA, Zherdev AV, Godjevargova T, Xu C, Dzantiev BB. // Food Chem. – 2020. – Vol.318:126510.

9. Jalili. Detection of penicillin G residues in milk based on dual-emission carbon dots and molecularly imprinted polymers / Jalili, Roghayeh; Khataee, Alireza; Rashidi, Mohammad-Reza // Food Chemistry, 2020. – 314: 126172

10. Bacanlı, M. Importance of antibiotic residues in animal food / M. Bacanlı, N. Başaran // Food and Chemical Toxicology. – 2019. – V. 125. – P. 462-466.

11. The vertical transmission of antibiotic residues from parent hens to broilers / L.J.M. Jansen, R.J. Berentsen, M. Arends, B.J.A. Berendsen // Food additives & contaminants: Part A. – 2020. – V. 37, No. 5. – P. 783-792.

12. Biodegradation of antibiotics: The new resistance determinants – part I / A.C. Reis, B.A. Kolvenbach, O.C. Nunes, P.F.X. Corvini // New Biotechnology. – 2020. – V. 54. – P. 34-51.

13. Advances on the chromatographic determination of amphenicols in food / L.R. Guidi, P.A.S. Tette, C. Fernandes, L.H.M. Silva, M.B.A. Gloria // Talanta. – 2017. – V. 162. – P. 324-338.

14. Effective screening of antibiotic and coccidiostat residues in food of animal origin by reliable broad-spectrum residue screening tests / I. Kožárová, D. Juščáková, J. Šimková, M. Milkovičová, M. Kožár // Italian Journal of Animal Science. – 2020. – V. 19(1). – P. 487-501.

15. Amphenicols stability in medicated feed – development and validation of liquid chromatography method / W.J. Pietro, A. Woźniak, K. Pasik, W. Cybulski, D. Krasucka // Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy. – 2014. – V. 58 (4). – P. 621-629.

16. Screening method for the detection of residues of amphenicol antibiotics in bovine milk by optical biosensor / C.S. Thompson, I.M. Traynor, T.L. Fodey, P. Barnes, D.V. Faulkner, S.R.H. Crooks // Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment. – 2020. – V. 37 (11). – P. 1854-1864.

17. Simultaneous and specific enrichment of several amphenicol antibiotics residues in food based on novel aptamer functionalized magnetic adsorbents using HPLC-DAD / S. Huang, N. Gan, H. Liu, Y. Zhou, Y. Chen, Y. Cao // Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. – 2017. – V. 1060. – P. 247-254.

18. Unified Strategy to Amphenicol Antibiotics: Asymmetric Synthesis of (-)-Chloramphenicol, (-)-Azidamphenicol, and (+)-Thiamphenicol and Its (+)-3-Fluoride / J. Liu, Y. Li, M. Ke, M. Liu, P. Zhan, Y.-C. Xiao, F. Chen // Journal of Organic Chemistry. – 2020. – V. 85 (23). – P. 15360-15367.

19. Galvidis, I.A. Three for the price of one! Immunodetection of three amphenicols in foodstuffs using a universal standard curve / I.A. Galvidis, S.A. Eremin, M.A. Burkin // Analytical Methods. – 2020. – V. 12 (13). – P. 1728-1735.

20. Screening method for the detection of residues of amphenicol antibiotics in bovine, ovine and porcine kidney by optical biosensor / C.S. Thompson, I.M. Traynor, T.L. Fodey, D.V. Faulkner, S.R.H. Crooks // Talanta. – 2017. – V. 172. – P. 120-125.

Статья поступила в редакцию 19.04.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 637.1:620.93

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0022

## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА НА ФЕРМАХ

© 2021

**Зайцев Петр Владимирович**, доктор технических наук,

профессор кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства

**Зайцев Сергей Петрович**, кандидат технических наук,

доцент кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства

**Зайцева Надежда Петровна**, старший преподаватель кафедры экономики, менеджмента и агроконсалтинга

*Чувашский государственный аграрный университет*

(428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 27, e-mails: nad2094@yandex.ru, zaycevp@mail.ru, zapevl@mail.ru)

**Аннотация.** Производственный процесс обслуживания коров и получения молока включает множество сложных технологических операций [4,6]. Наиболее затратной и энергоемкой из них является операция по очистке и охлаждению молока на фермах. Использование простых машин и оборудования, не требующих участия высококвалифицированных специалистов, исключает зависимость фермерских хозяйств от специальных предприятий по техническому обслуживанию и ремонту техники в молочном животноводстве. Анализ проведенных исследований по первичной обработке молока с использованием естественного холода позволяет выбрать технологию и оптимальные параметры ледяного бунта для очистки и охлаждения молока на фермерских хозяйствах вблизи доильного зала. Такая технология приобретает большую актуальность для молочного животноводства в связи с увеличением стоимости энергоносителей. Природно-климатические условия Чувашской Республики дают возможность круглый год применять для охлаждения молочной продукции на фермах холод водоемов, льда и атмосферного воздуха при соблюдении санитарных и зоотехнических требований. Природный охлажденный воздух можно эффективно применять в качестве хладоносителя с целью замены дорогостоящих и энергоемких холодильных установок, что является альтернативным решением использования холода при намораживании льда на специальных отведенных площадках для его хранения. В статье дается подробный анализ использования природного холода в технологии охлаждения молока. Проведенные исследования данной технологии доказывают эффективность применения графического метода, иллюстрационно подтверждающего снижение энергетических затрат.

**Ключевые слова:** молоко, ледяной бунт; регистр; артезианская скважина; теплообмен; доильная площадка, затраты, хладопроизводительность.

## RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR COOLING MILK ON FARMS

© 2021

**Zaytsev Peter Vladimirovich**, doctor of technical sciences,

professor of the department of mechanization, electrification and automation of agricultural production

**Zaitsev Sergey Petrovich**, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of mechanization, electrification and automation of agricultural production

**Zaitseva Nadezhda Petrovna**, senior lecturer, department of economics, management and agricultural consulting

*Chuvash State Agrarian University*

(428000, Cheboksary, K. Marx street, 27, e-mails: nad2094@yandex.ru, zaycevp@mail.ru, zapevl@mail.ru)

**Abstract.** The production process of servicing cows and receiving milk involves many complex technological operations. The most expensive and energy-intensive of them is the operation for cleaning and cooling milk on farms. The use of simple machines and equipment that do not require the participation of highly qualified specialists eliminates the dependence of farms on special enterprises for the maintenance and repair of equipment in dairy farming. The analysis of the conducted studies on the primary processing of milk using natural cold allows you to choose the technology and optimal parameters of the ice riot for cleaning and cooling milk on farms near the milking parlor. This technology is becoming more relevant for dairy farming due to the increase in the cost of energy carriers. The natural and climatic conditions of the Chuvash Republic make it possible to use the cold of reservoirs, ice and atmospheric air for the primary processing of milk on farms all year round, while observing sanitary and zootechnical requirements. It is advisable to use cold winter air on farms to accumulate cold in order to relieve energy-intensive refrigeration capacity. It is possible to accumulate cold in the form of water ice, using simple low-labor-intensive methods of its freezing, melting and reliable dry storage, as well as cheap construction and insulation materials for the construction of ice storage facilities. The article provides a detailed analysis of the use of natural cold in milk cooling technology. The conducted studies of this technology prove the effectiveness of the use of the graphic method, illustratively confirming the reduction of energy costs.

**Keywords:** milk, ice riot; register; artesian well; heat exchange; milking pad, costs, cooling capacity.

**Введение.** Государственной программой развития сельского хозяйства на ближайшие годы поставлена задача по повышению производства молочной продукции при увеличении годовой продуктивности с.х.



животных и достижения к 2023 году самообеспеченности молочным сырьем для эффективного развития рынка молочных продуктов [10 - 15].

В производственном процессе наиболее емкими и затратными являются операции очистки и охлаждения молока на фермах [6]. Анализ исследований по первичной обработке молока с использованием естественного холода позволяет выбрать технологию и оптимальные параметры ледяного бунта для очистки и охлаждения молока в хозяйствах, расположенных рядом с доильным залом. Такая технология приобретает большую актуальность для молочного животноводства в связи с увеличением стоимости энергоносителей. Кроме того, расход и стоимость электроэнергии в ночное и дневное время на животноводческой ферме при первичной обработке молока не одинаковый - в вечернее время он почти в 4 раза ниже чем в дневные часы. Поэтому одной из поставленных задач по эффективному и быстрому охлаждению молока является рациональное использование природно-энергетических ресурсов с применением альтернативных хладоносителей.

**Целью** работы является повышение эффективности технологии охлаждения свежесвыдоенного молока на молочных фермах за счет рационального применения альтернативных источников холода и использования энергосберегающей технологии.

**Материалы и методы исследования.** По итогам проведенных теоретических и производственных исследований можно рассчитать и выбрать соответствующие размеры ледяного бунта для очистки молока на животноводческих фермах вблизи доильной площадки. Потребность в применении сезонных энергосберегающих технологий и естественных источников холода особенно актуальна для небольших сельскохозяйственных предприятий и фермерских хозяйств, для чего создаются компактные заглубленные льдохранилища из стандартных строительных материалов.

Самым экономичным, эффективным и простым способом сохранения молока в свежем виде является охлаждение его сразу после доения до температуры 4...5°C чаще всего при применении охлажденной воды температурой в 2...5°C с целью сохранения начальных свойств молока [1-3]. Одной из проблем использования атмосферного воздуха в качестве естественного холода является его низкая объемная теплоемкость по сравнению с водой. Водный лед является источником естественного холода, а его использование требует дополнительных энергозатрат на заморозку воды в зимний период, а в летний период – на колку и транспортировку от места хранения к молочному цеху. Экономическая эффективность использования льда обеспечивается его использованием только на последней стадии охлаждения молока в специальном аппарате. Гораздо выгоднее использовать схему на основе промежуточного хладоносителя в качестве воды, охлаждаемой в вентиляционной градирне с аккумулятором естественного холода.

**Результаты исследований.** Теоретические и про-

изводственные исследования согласно с разработанным планом работы позволяют выбрать оптимальные параметры ледяного бунта для очистки молока на животноводческих фермах вблизи доильной площадки. Стандартные технологии охлаждения молока с применением машин для искусственного холода слишком дороги в обслуживании (расходуют до 25 кВт/ч электроэнергии) и имеют низкий показатель экологичности. Большинство регионов РФ находятся в зоне рискованного климата, где проще воспользоваться естественным холодом.

Потребную производительность холода для фермы можно определить по формуле

$$Q_x = Q_{\text{Нас}} \cdot C_m (t_2 - t_1), \text{ кВт} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{Нас}}$  – производительность насоса, кг/с;

$C_m = 3,9 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$  – удельная теплоемкость молока;

$t_2 = 35...40^\circ\text{C}$  – начальная температура молока;

$t_1 = 4...6^\circ\text{C}$  – температура охлажденного молока.

С этой целью на молочных фермах, особенно в зимнее время, рекомендуется использовать энергосберегающую технологию охлаждения молока естественным хладогентом – льдом, который намораживают в специальных ледяных бунтах. Для этого требуется заготовить лед в объеме 0,5 м<sup>3</sup> в расчете на 1 т молока, а льдохранилище рассчитывают на поголовье 150 дойных коров.

В процессе доения все свежее молоко из коровника направляется в специальный приемный резервуар, откуда, проходя через очиститель – охладитель ОМ-1А, охлажденное до температуры 5...7°C молоко поступает в накопительный термос – резервуар с последующей отправкой потребителю. В данной технологии охлажденная вода, проходя через емкость ледяного бунта, направляется в охладитель ОМ-1А.

Потребный объем емкости для охлаждающей воды определяется:

$$V_{\text{л.в.}} = 0,001 \frac{Q_{\text{ном}} - Q_{\text{фак}} \cdot Q_{\text{сут}}}{C_w \cdot \Delta t \cdot Q_{\text{нас}}}, \text{ м}^3 \quad (2)$$

где  $Q_{\text{ном}}$  – потребная хладопроизводительность, кВт;

$Q_{\text{фак}}$  – фактическая хладопроизводительность, кВт;

$C_w = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$  – удельная теплоемкость воды в резервуаре;

$Q_{\text{сут}}$  – суточное поступление молока для охлаждения, кг;

$Q_n$  – производительность насоса, кг/с.

В процессе охлаждения молочной продукции охлаждающая вода в емкости с начальной температуры около 3...5°C может нагреваться до 12...14°C после технологического процесса и использоваться на другие нужды. Процесс закладки ледяного бунта проводится в зимнее время, так как подобрать конструкцию водяного насоса с соответствующими характеристиками в производственных условиях очень трудно при намораживании льда на открытом воздухе [7].

По итогам технологических исследований разрабатывается графический метод определения интенсивности намораживания ( $\delta$ ) льда, длительности ( $\tau$ ) работы, производительности ( $Q$ ) и потребной мощно-



сти ( $N$ ) водяного насоса (рис. 1, табл. 1).

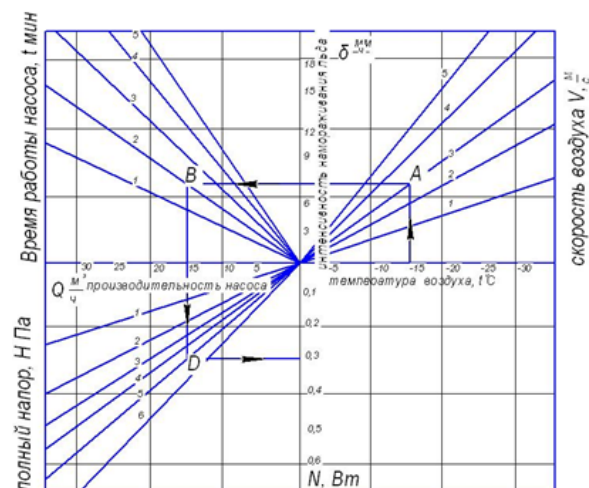


Рисунок 1 – Графический метод определения интенсивности  $\delta$  намораживания льда, длительности  $t$  работы насоса, производительности  $Q$  и потребностей мощности  $N$  насоса [5, 17, 19, 20].

Таблица 1 – Номера позиций (на рисунке) для определения значений  $\delta, t, Q, N$

Номера позиций на рисунке	Обозначение и размерности величин	Скорость увеличения воздуха $U, \text{ м/с}$	Время работы насоса $t, \text{ мин}$	Полный напор $H, \text{ Па}$	Производительность насоса $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	Мощность насоса $N, \text{ Вт}$
1		1	4	15	5	0,1
2		3	6	25	10	0,2
3		5	8	30	15	0,3
4		7	10	30	20	0,4
5		9	12	40	25	0,5
6		-	-	50	30	0,6

В производственных условиях возникают трудности определения показателей  $\delta, Q, N$  при окружающем воздухе  $t = -15^\circ\text{C}$  и  $U = 5\text{ м/с}$ . Авторами предлагается для этих целей использовать графический метод (рис.1).

Из точки  $t = -15^\circ\text{C}$  (первый квадрат) проводим линию до точки  $A$ , затем по горизонтали находим  $\delta = 7,1 \text{ мм/ч}$ . Далее из точки  $B$  проводим вертикаль и определяем  $Q = 16,9 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Из точки  $D$  проводим горизонтальную линию, по которой определяем мощность насоса  $N = 0,3\text{ Вт}$ .

**Заключение.** Эффективное использование альтернативных источников холода для охлаждения молочной продукции по сравнению с холодильными установками на молочных фермах снижает себестоимость животноводческой продукции с сохранением ее высокого качества [8-10]. Предложенная технология является энергосберегающей и может работать как самостоятельно, так и в линии охлаждения вместе с промышленными холодильными установками, а охлажденная льдом вода может применяться для охлаждения разных прохладительных напитков.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Modern problems of development of branch of dairy cattle breeding Kirilova T.E., Shamina O.V., Kurilova A.A., Gordeeva

L.G., Zaytseva N.P.: Modern problems of development of branch of dairy cattle breeding Kirilova T.E., Shamina O.V., Kurilova A.A., Gordeeva L.G., Zaytseva N.P. В книге: Материалы Международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 138-141. Материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 138-141.

2. Алексеев, С.А. Цифровые технологии как инструмент повышения эффективности молочного производства С. А. Алексеев, Н. П. Зайцева, П. В. Зайцев / Актуальные проблемы управления финансами в цифровой экономике. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары, 2019. - С. 180-184.

3. Белов, В.В. Снижение влияния колебаний на качество работы сельскохозяйственных агрегатов / В.В. Белов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. № 1. - С. 30.

4. Белова, Н. Н. Синергетический эффект от реконструкции энергохозяйства в моногородах приволжского округа / Н. Н. Белова, Т. П. Виеру, О. Г. Васильева, И. В. Волков // Современная аграрная экономика: проблемы и перспективы в условиях развития цифровых технологий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2019. - С. 107-111.

5. Горбунова, К. А. Использование новых видов упаковок для молочных продуктов / К. А. Горбунова, Е. В. Хушкин, Т. В. Шаронова // Молодежь и инновации: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Чебоксары, 2018. - С. 203-206.

6. Гришина, М.С. Аспекты государственной политики управления ресурсами для реализации инновационного сценария развития АПК / М. С. Гришина, О. В. Евграфов, А. Е. Макушев, А. И. Захаров, Н. Н. Белова // Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 32. - С. 62-67.

7. Зайцев П.В., Зайцев С. П., Зайцева Н. П. Технологическая линия для измерения объема и термической обработки жидкостей в животноводстве // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. - 2018. № 3 (6). - С. 79-87.

8. Зайцев С.П. Повышение эффективности механизированных процессов при проведении ветеринарно-санитарных работ на фермах КРС/С.П. Зайцев, Н.П. Зайцева, П.В. Зайцев // Актуальные проблемы и перспективы развития ветеринарной и зоотехнической наук. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары, 2019. - С. 229-234.

9. Зайцев С.П. Повышение эффективности проведения технического обслуживания технологического оборудования животноводческих ферм / С.П. Зайцев, Н.П. Зайцева, П.В. Зайцев // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2020. - С. 338-342.

10. Зайцева Н.П. Ключевые факторы развития отрасли молочного скотоводства в Чувашской Республике / Н. П. Зайцева, Н. В. Нестерова // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию первого выпуска технологов сельскохозяйственного производства. – Чебоксары, 2018. - С. 503-507.

11. Зайцева Н.П. Методы комплектования оборудования в энергосберегающих технологических линиях в животноводстве / Н. П. Зайцева, С. П. Зайцев, П. В. Зайцев // Рациональное природопользование и социально-экономическое развитие сельских территорий как основа эффективного функционирования АПК региона. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию со дня рождения заслуженного работника сельского хозяйства Российской Федерации, почетного гражданина Чувашской Республики Айдака Аркадия Павловича. – Чебоксары, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия. 2017. - С. 153-158.

12. Зайцева Н.П. Проблемы кадрового обеспечения отрасли молочного скотоводства в условиях перехода на цифровые технологии / Н.П. Зайцева, П.В. Зайцев,

С.П. Зайцева // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки Российской Федерации, Чувашской АССР, Почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Александра Ивановича Кузнецова (1930-2015 гг). В 2-х частях. - Чебоксары, 2020. - С. 410-413.

13. Зайцева Н.П. Современное состояние и проблемы развития отрасли молочного скотоводства в условиях перехода на цифровые технологии / Н. П. Зайцева, С. П. Зайцев, П. В. Зайцев // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. материалов Международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 2019. - С. 169-174.

14. Зайцева Н.П. Перспективы развития отрасли молочного скотоводства в условиях импортозамещения / Н.П. Зайцева, С. П. Зайцев, П. В. Зайцев // Состояние и перспективы развития АПК. Сборник статей VII Международной научно-практической конференции кафедры «Организация и информатизация производства». – Пенза, 2019. - С. 49-54.

15. Ларионов, Г. А. Оценка качества молока в Чувашской Республике / Г. А. Ларионов, Н. В. Щипцова, Н. И. Миловидова // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2012. № 2 (8). С. 9-11.

16. Максимов, А.Н. Проблемы и перспективы цифровой трансформации сельского хозяйства /А.Н. Максимов, Н.Н. Пушкаренко, В. В. Белов, Н.Н. Белова // Цифровая трансформация сельского хозяйства: проблемы и перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2020. - С. 3-16.

17. Михайлова О.В. СВЧ установки для термообработки воскового сырья в непрерывном режиме / О. В. Михайлова, Г. В. Новикова, М.В. Просвирякова, П. В. Зайцев, А.В. Шевелев, Д. Е. Дулепов // Перспективы развития аграрных наук. Материалы Международной научно-практической конференции: тезисы докладов. – Чебоксары, 2020. - С. 191-192.

18. Немцева Е.Ю. Молочная продуктивность коров разной линейной принадлежности / Е. Ю. Немцева // Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК. Материалы Международной научно-практической конференции . - 2015. - С. 317-321.

19. Новикова Г.В. Разработка микроволновой технологии и установки для размораживания и разогрева коровьего молозива / Г.В. Новикова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова, С. П. Зайцев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3 (14). - С. 90-94.

20. Щипцова Н.В. Показатели безопасности молока коров и продукции переработки / Н. В. Щипцова, Г. А. Ларионов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2008. Т. 193. С. 254-256.

*Статья поступила в редакцию 24.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 664.64

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0023

## ИЗМЕНЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСА РЖАНО-ПШЕНИЧНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРЯНО-АРОМАТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

© 2021

**Давыденко Наталия Ивановна**, доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры технологии и организации общественного питания  
*Кемеровский государственный университет*  
(650000, г. Кемерово, ул. Красная 6, e-mail: nat1861@yandex.ru)

**Голуб Ольга Валентиновна**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник  
отдела научных направлений комплексной переработки сельскохозяйственного сырья  
*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук*  
(630501, Россия, р.п. Краснообск, e-mail: golubiza@rambler.ru)

**Ульянова Галина Сергеевна**, аспирант, кафедры технологии и организации общественного питания  
*Кемеровский государственный университет*  
(650000, г. Кемерово, ул. Красная 6, e-mail: uyanova.galochka@bk.ru)

**Аннотация.** Вещества, обладающие антиоксидантной активностью в настоящее время являются обязательной составляющей здорового питания и их содержание характеризует ценность рационов наряду с витаминным и минеральным составом. В последнее время применение пряно-ароматического сырья рассматривается не только с точки зрения улучшения органолептических характеристик продуктов питания, но и в качестве способа повышения физиологической ценности пищевых продуктов для организма человека, придания им функциональных свойств. Цель исследований: оценка возможности использования пряно-ароматического сырья как источника антиоксидантов в производстве хлебобулочных изделий. Объект исследований – антиоксидантная активность пряно-ароматического сырья и продуктов с его использованием. На основании проведенных исследований можно констатировать, что пряно-ароматическое сырье по антиоксидантной активности можно проранжировать следующим образом: розмарин > кориандр > тмин > базилик. Использование пряно-ароматического сырья в традиционных количествах оказывает небольшое влияние на антиоксидантную активность ржано-пшеничного хлеба. Продукция, содержащая полуфабрикаты из розмарина и базилика обладают антиоксидантной активностью незначительно превышающей базовую – всего в 1,04 раза, при использовании тмина и кориандра - в 1,15 раза. Таким образом, применение полуфабрикатов из тмина, кориандра, розмарина и базилика в традиционных количествах при производстве ржано-пшеничного хлеба оказывает незначительное влияние на его антиоксидантный статус.

**Ключевые слова:** ржано-пшеничный хлеб, пряно-ароматическое сырьё, антиоксиданты, антиоксидантная активность.

## ON THE USE OF AROMATIC RAW MATERIALS AS A SOURCE OF ANTIOXIDANTS IN THE RYE-WHEAT BREAD

© 2021

**Davydenko Natalia Ivanovna**, doctor of technical sciences, professor  
*Kemerovo State University*

(Russia, 650000, Kemerovo, 6 Krasnaya str., e-mail: nat1861@yandex.ru)

**Golub Olga Valentinovna**, doctor of technical sciences, professor, chief researcher of the Department of Scientific Directions of Complex Processing of Agricultural Raw Materials  
*Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences*  
(630501, Krasnoobsk, Russia, e-mail: golubiza@rambler.ru)

**Ulyanova Galina Sergeevna**, post-graduate student  
*Kemerovo State University, Russia*

(650000, Kemerovo, 6 Krasnaya str., e-mail: uyanova.galochka@bk.ru)

**Abstract.** Substances with antioxidant activity are currently an essential component of a healthy diet and their content characterizes the value of diets along with vitamin and mineral composition. Recently, the use of spicy-aromatic raw materials is considered not only from the point of view of improving the organoleptic characteristics of food, but also as a way to increase the physiological value of food for the human body, giving them functional properties. The purpose of the research: to evaluate the possibility of using spicy-aromatic raw materials as a source of antioxidants in the production of bakery products. The object of research is the antioxidant activity of spicy-aromatic raw materials and products with its use. Based on the conducted studies, it can be stated that the spicy-aromatic raw materials can be ranked according to the antioxidant activity as follows: rosemary > coriander > cumin > basil. The use of spicy-aromatic raw materials in traditional quantities has a small effect on the antioxidant activity of rye-wheat bread. Products containing rosemary and basil have an antioxidant activity slightly higher than the base-only 1.04 times, when using cumin and coriander-1.15 times. Thus, the use of cumin, coriander, rosemary and basil in traditional quantities in the production of

rye-wheat bread has little effect on its antioxidant status.

**Keywords:** rye-wheat bread, spicy-aromatic raw materials, antioxidants, antioxidant activity.

**Введение.** Окислительный стресс, представляющий собой сбой антиоксидантной защитной системы организма человека, в последнее время считается одной из основных предпосылок возникновения целого ряда болезней «тысячелетия»: сердечно-сосудистых, онкопатологий, нейродегенеративных, других. Ведущая роль окислительному стрессу отводится и в запуске механизма преждевременного старения. В этой связи интерес к изучению возможных путей повышения резистентности организма к воздействию радикалов только растет, при этом питание рассматривается в качестве одного из факторов, оказывающих реальное влияние на решение вышеуказанной проблемы [1].

Вещества, обладающие антиоксидантной активностью (антиоксиданты) в настоящее время являются обязательной составляющей здорового питания и их содержание характеризует ценность рационов наряду с витаминным и минеральным составом. Существует даже понятие «антиоксидантная терапия», что подтверждает изменения отношения к питанию от «просто» источника энергии и необходимых для функционирования организма нутриентов до питания-«лекарство». Однако в настоящее время еще существуют не до конца исследованные аспекты, касающиеся биодоступности, норм потребления, метаболизма антиоксидантов [2, 3].

В настоящее время к антиоксидантам относят более 3000 соединений. Самыми эффективными антиоксидантами считаются полифенолы - вещества растительного происхождения. При этом к полифенолам относятся флавоноиды, фенольные кислоты, витамины и др., т.е. вещества различной химической природы, имеющие различные механизмы антирадикального воздействия.

Антиоксидантом нефенольной природы является селен, составной элемент некоторых ферментов и гормонов. Создание биоусвояемых форм селена в пищевых продуктах – одно из перспективных направлений исследований [4]. Имеются данные о синергетическом эффекте в комплексах селена с другими антиоксидантами [5].

С давних времен пряно-ароматическое сырьё добавляется в пищу в виде специй и пряностей с целью усовершенствования вкусовых свойств пищевых продуктов, как по отдельности, так и в различных сочетаниях. В последнее время применение пряно-ароматического сырья рассматривается не только с точки зрения улучшения органолептических характеристик продуктов питания, но и в качестве эффективного способа повышения физиологической ценности пищевых продуктов для организма человека, придания им функциональных свойств [3].

Известно, что многие виды пряно-ароматического сырья оказывают различные оздоровительные воздействия на организм человека: противовоспалительное, антисклеротическое, антиканцерогенное, ан-

тиаритмическое, антиревматоидное, антимуtagenное, гастропротекторное, липидоснижающее, радиопротекторное, противоаллергическое, антималярийное и другое. Большинство функциональных свойств пряно-ароматического сырья напрямую связаны с тем, что оно является богатым источником антиоксидантов [3, 6].

В основном специи и пряности содержат антиоксиданты фенольной природы. При этом отдельными исследователями сообщается о более высокой антиоксидантной активности сушеных пряностей в сравнении со свежими пряными травами [7].

При разработке функциональных продуктов неспециализированного назначения одним из обязательных требований является массовость потребления – продукт должен быть доступным и привычным для потребления большинству потенциальных потребителей. Традиционно таким продуктом является хлеб, за счет которого обеспечивается поступление основных пищевых веществ, в том числе до 70 % потребности в растительном белке [8].

Следует отметить, что потребление хлеба мало зависит от социального статуса потребителей – продукт популярен у всех слоев населения. В последние годы наблюдается изменение структуры спроса на хлеб и хлебобулочные изделия – наблюдается сдвиг в сторону хлеба из ржаных сортов муки и низкосортных пшеничных сортов, а также цельнозернового, обладающих биологически ценным химическим составом. Ржаной хлеб, благодаря своим свойствам прекрасно вписывается в концепции правильного питания, в том числе и за рубежом [9, 10]. Это позволяет рассматривать хлеб в том числе и как источник антиоксидантов в рационе [11].

Имеются данные, подтверждающие положительное влияние потребления хлеба из ржаной обойной муки на показатели крови – уровень холестерина и липопротеидов [12].

Хлеб является достаточно нейтральным пищевым продуктом, что дает возможность вводить в его рецептуру достаточно широкий спектр нетрадиционного сырья и получать гармоничный в сенсорном отношении продукт с повышенной пищевой ценностью.

Активно применяются биологически активные добавки, монопрепараты дефицитных микронутриентов, а также их комплексы [13, 14].

Однако наиболее часто в качестве нетрадиционного ингредиента выступает разнообразное сырьё растительного происхождения [15, 16].

Органолептические особенности ржаного хлеба позволяют активно использовать плодородное сырьё, тем самым повышая антиоксидантный статус изделий [17].

Зачастую для получения адекватного количества антиоксидантов с пищевым продуктом его необходимо употребить в достаточно большом количестве. Существует необходимость поиска возможности получения



концентратов, имеющих высокую антиоксидантную активность. Это также позволит использовать их в качестве функциональных пищевых ингредиентов, в том числе при производстве хлеба. Например, в виде измельченных порошков и/или экстрактов [18-21].

В этой связи подбор технологических режимов получения экстрактов, позволяющих получить качественный продукт с сохранением антиоксидантной активности является перспективным направлением исследований [22]. Тем более, что многие исследователи отмечают, что антиоксидантная эффективность экстрактов их растительного сырья выше, чем синтетических антиоксидантов вне зависимости от растворителя [23].

**Целью** исследований является оценка возможности использования пряно-ароматического сырья как источника антиоксидантов в производстве хлебобулочных изделий.

**Материалы и результаты исследования.** Объект исследований – антиоксидантная активность пряно-ароматического сырья и продуктов с его использованием. Исследованию подвергалось пряно-ароматическое сырье, соответствующее по своим качественным характеристикам требованиям действующей нормативной документации: розмарин с массовой долей влаги 68% – ГОСТ 31791-2012 «Продукция и сырье эфиромасличное травянистое и цветочное. Технические условия»; тмин с массовой долей влаги 12% - ГОСТ 29056-91 «Пряности. Тмин. Технические условия»; кориандр с массовой долей влаги 12% - ГОСТ 29055-91 «Пряности. Кориандр. Технические условия»; базилик с массовой долей влаги 95% - ГОСТ Р 56562-2015 «Базилик свежий-зелень. Технические условия». Использование в данных исследованиях розмарина, тмина, кориандра, базилика и петрушки обусловлено как доступностью, так и высокой антиоксидантной активностью [23-26].

При изготовлении хлебобулочных изделий, в том числе хлеба, пряно-ароматическое сырье используется преимущественно с целью улучшения органолептических характеристик – путем отделки поверхности, использовании в виде заварок. Однако его введение также можно рассматривать и с точки зрения изменения физиологической ценности продукта.

На основании вышесказанного, основываясь на опыте собственных и сторонних исследований растительного сырья [25, 28] для достижения цели данной работы проводилось изготовление и оценивание антиоксидантных свойств полуфабрикатов из пряно-ароматического сырья, полученных методом мацерации – таким образом моделировали переход биологически активных веществ из сырья в тесто. В качестве растворителя при получении полуфабрикатов использовалась вода, другие растворители (этанол, глицерин и т.д.) могут даже в незначительном количестве оказывать отрицательное воздействие на течение основных процессов изготовления хлебобулочных изделий. Основные операции по изготовлению полуфабрикатов из пряно-ароматического сырья следующие: пригото-

вание смеси - измельченное до 3-5 мм сырье заливается водой температурой 95-97°С в соотношении 1:10; мацерация смеси - при температуре 22±2°С в течение 2 – 24 ч (рис. 1 и 2).

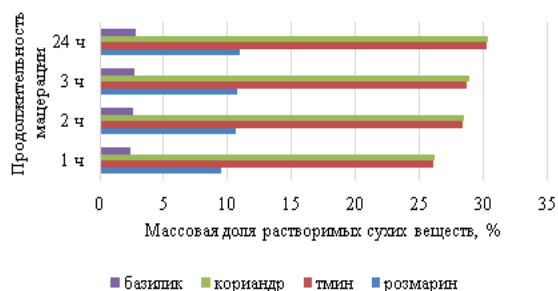


Рисунок 1 – Содержание растворимых сухих веществ в полуфабрикатах из пряно-ароматического сырья в зависимости от продолжительности мацерации, %

В исследуемых полуфабрикатах из пряно-ароматического сырья определяли содержание растворимых сухих веществ рефрактометрическим методом согласно ГОСТ ISO 2173-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ». Результаты исследований представлены на рисунке 1.

Из данных рисунка 1 видно, что проведение мацерации более 2 ч при вышеуказанных условиях не целесообразно, поскольку выход сухих веществ не превышает 33% от содержащегося в исследуемом пряно-ароматическом сырье.

Многие исследователи считают, что антиоксидантная активность пряно-ароматического сырья обуславливается содержанием в нем фенольных соединений (карнозола, розмариновой кислоты, гесперидина и пр.), эфирами, органическими кислотами, витаминами и другими нутриентами, зависит от растворителя, продолжительности мацерации и многих других факторов [23 - 26].

В исследуемых полуфабрикатах из пряно-ароматического сырья определяли антиоксидантную активность кулонометрическим методом на анализаторе «ЭКСПЕРТ-006 – Антиоксиданты». Результаты исследований представлены на рисунке 2.

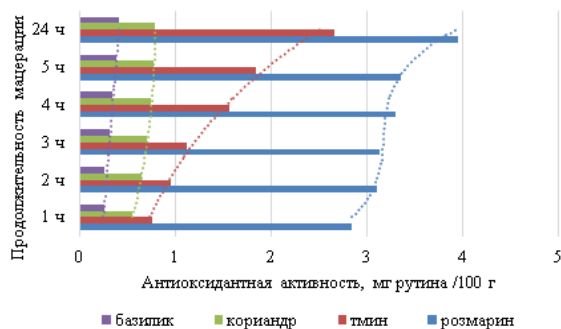


Рисунок 2 – Антиоксидантная активность полуфабрикатов из пряно-ароматического сырья в зависимости от продолжительности мацерации

Из данных рисунка 2 видно, что продолжитель-

ность мацерации оказывает прямое влияние на антиоксидантную активность полуфабрикатов из пряно-ароматического сырья. Однако характер процесса у различных видов сырья различается ( $y$  – антиоксидантная активность, мг рутина/100 г;  $x$  – продолжительность мацерации, ч):

$$\text{Розмарин } y = 0,0287x^3 - 0,2686x^2 + 0,8648x + 2,2204 \quad (R^2 = 0,9843)$$

$$\text{Тмин } y = 0,5763e^{0,2451x} \quad (R^2 = 0,9877)$$

$$\text{Кориандр } y = -0,01x^2 + 0,1158x + 0,4508 \quad (R^2 = 0,9949)$$

$$\text{Базилик } y = 0,0004x^2 + 0,0297x + 0,2242 \quad (R^2 = 0,9722)$$

У розмарина и тмина процесс мацерации водорастворимых антиоксидантов нарастает достаточно высокими темпами в течении всех исследуемых суток. В процессе мацерации под действием температуры происходит интенсификация биохимических процессов в полуфабрикате, которые приводят к образованию различных комплексов. Образованием новых комплексов можно объяснить высокую антиоксидантную активность полуфабриката из тмина после 24 ч мацерации – 2,7 мг рутина /100 г продукции. Стоит отметить, что экстракты розмарина на территории нашей страны, согласно ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», разрешены к использованию в качестве пищевой добавки (E392) в качестве антиокислителя при изготовлении пищевой продукции. У базилика и кориандра после 3 ч мацерации антиоксидантная активность меняется незначительно.

Разница в изменении антиоксидантной активности исследуемых видов сырья возможно связана с химической природой веществ-антиоксидантов, характерных для каждого вида сырья, что требует дополнительного изучения. В целом, продолжительность мацерации пряно-ароматического сырья может составлять 2-24 ч и зависит, прежде всего, от используемого сырья/сочетания нескольких видов сырья и возможностей производства.

На основании проведенных исследований можно констатировать, что пряно-ароматическое сырье по антиоксидантной активности можно проранжировать следующим образом: розмарин > кориандр > тмин > базилик.

Далее проводили исследования влияния исследуемого пряно-ароматического сырья на антиоксидантный статус ржаных хлебобулочных изделий.

Традиционно при изготовлении ржаных хлебобулочных изделий применяются такие пряности, как кориандр и тмин в целом или измельченном видах. В последние годы отмечен интерес потребителей к хлебобулочным изделиям с нетрадиционными ароматом и вкусом, повышенными функциональными свойствами, что и послужило причиной расширения продукции с разными пряно-ароматическими добавками, в том числе с использованием розмарина и базилика [28, 29].

Проведены исследования по изучению возможного влияния исследуемых видов пряно-ароматического сырья и их сочетаний (кориандр + тмин и розмарин +

базилик) на антиоксидантный статус ржано-пшеничного хлеба, учитывая, что ржаная мука также обладает достаточно высоким содержанием антиоксидантных веществ. В качестве базовой (контроля) использовали традиционную рецептуру заварного ржано-пшеничного хлеба «Бородинский» без введения пряностей. Разработка рецептур с использованием комбинаций пряно-ароматического сырья (розмарина, тмина, кориандра и базилика) осуществлялась с применением метода фуйдперинга, базирующегося на принципе сочетаемости, поскольку пищевые продукты не употребляются изолированно, а, обычно, сочетаются в системы «пища – напитки» и/или «пища – пища» [30]. При этом количество пряно-ароматического компонента вводилось в количествах, предусмотренных базовой рецептурой

На рисунке 3 представлены результаты исследований по определению антиоксидантной активности полученных образцов хлебобулочной продукции.

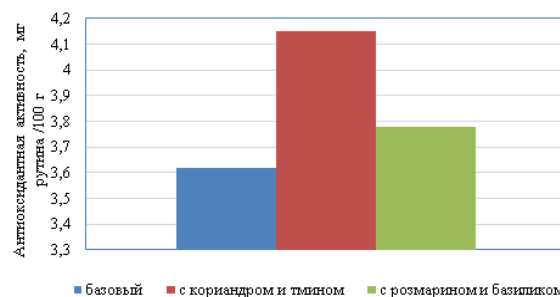


Рисунок 3 – Антиоксидантная активность ржано-пшеничного хлеба

Из данных рисунка 3 видно, что использование пряно-ароматического сырья в традиционных количествах оказывает незначительное влияние на антиоксидантную активность ржано-пшеничного хлеба. Продукция, содержащая розмарин и базилик, обладает антиоксидантной активностью незначительно превышающей базовую – всего в 1,04 раза, в то время, как при использовании тмина и кориандра – в 1,15 раза. Дальнейшие исследования показали, что увеличение количества вводимого пряно-ароматического сырья на 50-100 % не оказывало существенного влияния на физико-химические показатели, а также на внешний вид и состояние мякиша ржано-пшеничного хлеба, но значительно ухудшало его запах и вкус.

**Заключение.** Таким образом, применение тмина, кориандра, розмарина и базилика в традиционных количествах при производстве ржано-пшеничного хлеба оказывает незначительное влияние на его антиоксидантный статус. Однако считаем возможным продолжить исследования по созданию гармоничных сочетаний различных видов пряно-ароматического и других видов сырья, способных повысить антиоксидантную активность хлебобулочных изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Yang C.S., Ho C.-T., Zhang J. et al. Antioxidants: Differing meanings in food science and health science. Journal of agricultural and food chemistry, 2018, V. 66, Is. 12, pp. 3063-3068. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01111>

org/10.1021/acs.jafc.7b05830

2. Яшин Я.И. Природные антиоксиданты - неотъемлемая часть здорового и полноценного питания. Проблемы антиоксидантной терапии /Я.И. Яшин, А.Я. Яшин, А.Н. Веденин // Вопросы питания. - 2014. - Т. 83. - № S3. - С. 39.

3. Антиоксидантная активность специй и их влияние на здоровье человека (обзор) /Я.И. Яшин, А.Н. Веденин, А.Я. Яшин, Б.В. Немзер // Сорбционные и хроматографические процессы. - 2017. - Т. 17. - № 6. - С. 954-969.

4. Davydenko N.I. and Mayurnikova L.A. On the possibility to grow high-selenium wheat in the kuznetsk basin. *Foods and Raw Materials*, 2014, V. 2, № 1, pp. 3-10.

5. Кацурба Т.В. Синергизм антиоксидантов с селеном в пищевой промышленности /Т.В. Кацурба, В.К. Гайда // Школа аспирантов: сб. статей Всерос. науч. конф.; г. Иркутск, сентябрь, 2017 г. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2017. - С. 52-58.

6. Антиоксиданты растительного генеза для мясной индустрии /Т.К. Каленик, Н.Г. Ли, А.В. Алешков, Е.В. Моткина // IV международный балтийский морской форум: мат. Межд. морского форума; г. Калининград, май, 2016 г. – Калининград: ОСП «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2016. - С. 1355-1360.

7. Борисова А.В. Антиоксидантная активность in vitro пряностей, используемых в питании человека /А.В. Борисова, Н.В. Макарова // Вопросы питания. - 2016. - Т. 85. - № 3. - С. 120-125.

8. Соловьева Е.А. Разработка технологии хлебобулочных изделий функционального назначения с использованием нетрадиционного сырья /Е.А. Соловьева, Д.А. Сьянов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2017. - Т. 79. - № 3 (73). - С. 104-108.

9. Клепикова С. Ржаной хлеб перестает быть исконно русским продуктом // Хлебопечение / Кондитерская сфера. - 2016. - № 3 (65). - С. 6-8.

10. Tran T., James M.N., Chambers D. et al. Lexicon development for the sensory description of rye bread. *Journal of Sensory Studies*, 2019, V. 34, Is. 1. <https://doi.org/10.1111/joss.12474>

11. Pathak D., Majumdar J., Raychaudhuri U and Chakraborty R. Dynamic role of natural antioxidant sources on different parameters of bread quality: a review. *Nutrafoods*, 2016, V. 15, pp. 163-178. DOI 10.17470/NF-016-1037-3

12. Влияние разных видов хлеба на биохимический состав крови и массу белых мышей /А.А. Ивановский, В.А. Сысуев, Е.Ю. Тимкина и др. // Достижения науки и техники АПК. - 2012. - № 6. - С. 65-67.

13. Tsykhanovska I., Evlash V., Alexandrov A. et al. Influence of the polyfunctional food supplement "Magnetofood" on the quality of the wheat-rye bread Kharkiv Rodnichok" in the storage process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, V. 5, Is. 11, pp. 61-70.

14. Давыденко Н.И. Разработка комплексной добавки для обогащения хлеба селеном и йодом // Техника и технология пищевых производств. - 2013. - № 1 (28). - С. 127-132.

15. Dubrovskaya N., Savkina O., Kuznetsova L. et al. Accelerated technology of rye bread with improved quality and increased nutritional value. *Agronomy research*, 2019, V. 17, S.Is. I, pp. 1299-1312. <https://doi.org/10.15159/ar.19.059>

16. Ermosh L. G., Priskhina N. V. and Nepomnyashchikh E. N. Use of powder *Helianthus tuberosus* L. in the production of frozen bread. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020, V. 548, Is. 8. DOI:10.1088/1755-1315/421/2/022018

17. Sergieva S.U., Bagaeva T.V., Gabdukaeva L.Z. and Reshetnik O.A. Bakery product technology for treatment and preventive nutrition. *EurAsian Journal of BioSciences*, 2019, V. 13, Is. 2, pp. 1297-1301.

18. Tian Y., Puganen A., Alakomi H.-L. et al. Antioxidant and antibacterial activities of aqueous ethanol extracts of berries, leaves, and branches of berry plants. *Food Res. Int.*, 2018, V. 106, pp. 291–303.

19. Киселёва В. Экстракты розмарина - перспективы использования в качестве антиоксидантов // Пищевая индустрия. - 2017. - № 4 (34). - С. 46.

20. Lachowicz S., Swieca M. and Pejcz E. Improvement of Health-Promoting Functionality of Rye Bread by Fortification

with Free and Microencapsulated Powders from *Amelanchier alnifolia* Nutt. *Antioxidants*, 2020, V. 9, pp. 614. <https://doi.org/10.3390/antiox9070614>

21. Swieca M., Gawlik-Dziki U., Dziki D. and Baraniak B. Wheat bread enriched with green coffee — In vitro bioaccessibility and bioavailability of phenolics and antioxidant activity. *Food Chem.*, 2017, V. 221, pp. 1451–1457. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.11.006

22. Sepahpour S., Selamat J., Abdul Manap M.Y. et al. Comparative Analysis of Chemical Composition, Antioxidant Activity and Quantitative Characterization of Some Phenolic Compounds in Selected Herbs and Spices in Different Solvent Extraction Systems. *Molecules*, 2018, V. 23, pp. 402. <https://doi.org/10.3390/molecules23020402>

23. Nieto G., Ros G. and Castillo J. Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A Review. *Medicines*, 2018, V. 5, Is. 3, pp. 98. <https://doi.org/10.3390/medicines5030098>

24. Teofilović B., Grujić-Letić N., Goločorbin-Kon S. et al. Experimental and chemometric study of antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum*) extracts // *Industrial Crops and Products*, 2017, V. 100, pp. 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.039>

25. Fatima T., Beenish, Naseer B. et al. Antioxidant potential and health benefits of cumin. *Journal of Medicinal Plants Studies* 2018, V. 6, Is. 2, pp. 232-236.

26. Palmieri S., Pellegrini M., Ricci A. et al. Chemical Composition and Antioxidant Activity of Thyme, Hemp and Coriander Extracts: A Comparison Study of Maceration, Soxhlet, UAE and RSLDE Techniques. *Foods*, 2020, V. 9, p. 1221. <https://doi.org/10.3390/foods9091221>

27. Миллер Ю.Ю. Применение экстракта *Agrimonia eupatoria* L. для производства кваса /Ю.Ю. Миллер, О.В. Голуб, К.В. Захарова // Индустрия питания. - 2020. - Т. 5. - № 3. - С. 35–43. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-3-4

28. Кушова Ю.Ю. Обогащение ржано-пшеничного хлеба CO<sub>2</sub>-экстрактом розмарина // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2012. - № 1. – С. 162

29. Raba D.N., Moigrădean D., Poiană M.-A. et al. Antioxidant capacity and polyphenols content for garlic and basil flavored bread. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2007, V. 13, Is. 1, pp. 163-168.

30. Galmarini M.V. The role of sensory science in the evaluation of food pairing. *Current Opinion in Food Science*, 2020, V. 33, pp. 149-155. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.05.003>

*Статья поступила в редакцию 21.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 663.813

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0024

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАРОТИНОИДОВ АПЕЛЬСИНОВЫХ СОКОВ И НЕКТАРОВ**

©2021

**Нилова Людмила Павловна**, кандидат технических наук, доцент, доцент Высшей школы сервиса и торговли**Малютенкова Светлана Михайловна**, кандидат технических наук, доцент,

доцент Высшей школы сервиса и торговли

**Арсирий Анастасия Григорьевна**, студент Высшей школы сервиса и торговли**Мухутдинов Руслан Рамильевич**, сотрудник лаборатории Высшей школы сервиса и торговли*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(194064, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,**e-mails: nilova\_l\_p@mail.ru, malutesha66@mail.ru, anastasiadragon2000@yandex.ru, deyredo@mail.ru)*

**Аннотация.** Тренд здорового питания в настоящее время продолжает оставаться актуальным, и различные напитки занимают одну из главных позиций. Апельсиновые соки и нектары являются источниками антиоксидантов, что обеспечивает их пользу для здоровья. В состав антиоксидантов апельсинового сока входят каротиноиды, проявляя защитное действие от синглетного кислорода  $^1O_2$ . В работе приведены результаты исследований суммарного количества каротиноидов апельсиновых соков и нектаров, реализуемых на российском потребительском рынке. Суммарное количество каротиноидов определяли прямой спектрофотометрией при длине 450 нм с модифицированной пробоподготовкой. Экспериментально установлено, что для извлечения суммарного количества каротиноидов из сока необходимо использовать соотношение сок: гексан – 30:10, время экстрагирования составляет не менее 30 минут с постоянным перемешиванием. В восстановленных апельсиновых соках с мякотью различных торговых марок суммарное количество каротиноидов составляет 0,65-1,05 мг/100 мл. Их количество меньше, чем в свежееотжатом апельсиновом соке на 18-49%. В апельсиновых нектарах различных торговых марок суммарное количество каротиноидов составляет 0,37-0,45 мг/100 мл, что меньше, чем в восстановленных соках в 2 и более раз.

**Ключевые слова:** апельсиновый сок, апельсиновый нектар, каротиноиды, экстракция, спектрофотометрия.

**RESEARCH OF CAROTENOIDS IN ORANGE JUICES AND NECTARS**

©2021

**Nilova Liudmila Pavlovna**, PhD of Engineering, associate professor at the Graduate School of Service and Trade**Malyutenkova Svetlana Michailovna**, PhD of Engineering,

associate professor at the Graduate School of Service and Trade

**Arsirii Anastasia Grigorievna**, student at the Graduate School of Service and Trade**Mukhametdinov Ruslan Ramil'evich**, laboratory assistant at the Graduate School of Service and Trade*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(194021, Russia, Saint-Petersburg, Polytechnic Street, 29,**e-mails: nilova\_l\_p@mail.ru, malutesha66@mail.ru, anastasiadragon2000@yandex.ru, deyredo@mail.ru)*

**Abstract.** The trend of healthy eating continues to be relevant, and soft drinks occupy one of the main positions. Orange juices and nectars are a source of antioxidants for health benefits. The antioxidants in orange juice contain carotenoids, which have a protective effect against singlet oxygen  $^1O_2$ . The paper presents the results of studies of the total amount of carotenoids in orange juices and nectars sold in the Russian consumer market. The total amount of carotenoids was determined by direct spectrophotometry at a length of 450 nm with modified sample preparation. It has been experimentally established that to extract the total amount of carotenoids from juice, it is necessary to use the following modes: the ratio of juice: hexane is 30:10, the extraction time is at least 30 minutes with constant stirring. In reconstituted orange juices with pulp of various brands, the total amount of carotenoids is 0.65–1.05 mg / 100 ml. Their amount is 18-49% less than in freshly squeezed orange juice. In orange nectars of various brands, the total amount of carotenoids is 0.37-0.45 mg / 100 ml, which is 2 or more times less than in reconstituted juices.

**Keywords:** orange juice, orange nectar, carotenoids, extraction, spectrophotometry.

**Введение.** Апельсиновый сок среди ассортимента соковой продукции лидирует в рейтинге напитков для здорового питания как источник антиоксидантов. Апельсиновый сок нельзя рассматривать только, как источник витамина С. В его состав входит более широкий спектр антиоксидантов – флавоноиды, фенольные кислоты, каротиноиды и другие полезные для здоровья вещества – пектины, витамины группы В, минеральные вещества [1, 2]. В основном его используют в нативном виде, как напиток, но он также

может быть использован как ингредиент в различных напитках – обогащенных сокодержущих, апельсиново-молочных [3, 4] и молочных ферментированных напитков [5, 6].

В последние годы возрос научный интерес к исследованию каротиноидов пищевых продуктов растительного происхождения, что связано с их антиоксидантными свойствами, и делает их ценными для здоровья [7, 8]. В апельсиновом соке каротиноиды обеспечивают не только красивую окраску, но и об-



ладают высокой биодоступностью, биологической активностью ( $\alpha$ - и  $\beta$ -каротины,  $\beta$ -криптоксантин) и антиоксидантными свойствами (лютеин, зеаксантин), проявляя защитное действие от синглетного кислорода  $^1\text{O}_2$  [7]. В апельсиновом соке чаще всего идентифицируют около 15 каротиноидов, в соке из красных апельсинов – 42, преимущественно ксантофиллов [9, 10]. Количественно преобладают виолаксантин, анте-роксантин,  $\beta$ -криптоксантин [11]. На долю  $\beta$ -каротина приходится лишь 8-10% [2, 9] с одновременным присутствием  $\alpha$ -каротина в таком же количестве. Современные аналитические методы позволили *Etzbach* с соавторами [8] в апельсиновых соках обнаружить 92 каротиноида, из которых 61 были идентифицированы.

Количественный и качественный состав каротиноидов апельсинового сока зависит от вида и сорта апельсинов, региона произрастания, технологии производства, что снижает их содержание от сока прямого отжима до восстановленного сока [12]. В апельсиновом соке прямого отжима общее содержание каротиноидов может составлять 9-22 мг/л, а в соке из красных апельсинов «*Cara Cara*» в 2-3 раза больше [2, 8-11, 13]. При пастеризации сока потери каротиноидов могут составлять 13,4%, а при изготовлении концентрата сока – 17,5% [9]. Высокие температуры во время обработки, такие как традиционная пастеризация и горячий розлив, могут вызвать нестабильность полиеновой цепи каротиноидов, приводящей к их деградации в результате изомеризации, окисления и расщепления. Так, по данным [8] при использовании низких температур пастеризации общее количество каротиноидов, мкг/100 мл, в апельсиновом соке составило 954,1, при традиционных температурах пастеризации 759,95, а с горячим розливом – 815,3. В целом различия довольно низкие, и наблюдаемые потери могут быть невысокими, что актуально для конечного продукта с точки зрения потребителя. Обычная пастеризация и горячий розлив привели к значительному снижению общего содержания виолаксантина, сложных эфиров примерно на 20,9% и 26,7% соответственно по сравнению с необработанным соком. Ультравысокотемпературная пастеризация, напротив, в большей степени сохраняет каротиноиды, чем традиционная пастеризация. Так, потери суммарного количества каротиноидов при традиционной пастеризации составили 20%, а при ультравысокотемпературной обработке 16% [13]. Считается, что во время термической обработки наиболее стабильны ликопин, фитоеин и фитофлуены [10]. Дополнительная обработка сока высоким давлением снижает содержание каротиноидов на 16%, преимущественно за счет ликопина [11]. Более значительны потери каротиноидов при гомогенизации – в 1,35 раза, но при этом биодоступность каротиноидов улучшается, включая труднодоступные эпоксикаротиноиды [14].

На российском потребительском рынке потребителю реализуют не только апельсиновые соки, причем восстановленные, но и апельсиновые нектары, в которых доля антиоксидантов снижается за счет смешива-

ния сока с водой.

**Целью** работы является определение содержания суммарного количества каротиноидов в апельсиновых соках и нектарах, реализуемых на российском потребительском рынке.

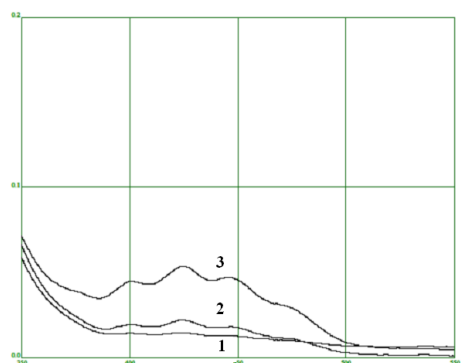
**Материалы и результаты исследований.** Для исследований использовали апельсиновые соки, восстановленные с мякотью торговых марок: «*Я*» и «*Л7*» ООО «*Лебедянский*», «*Rich*», АО «*Мултон*»; апельсиновые нектары с мякотью торговых марок: «*Фруктовый сад*», ООО «*Лебедянский*», «*Добрый*», АО «*Мултон*» и «*То, что надо*» ООО «*Ярославский комбинат алкогольных и безалкогольных напитков*». В качестве контроля использовали свежеежатый сок из апельсинов сорта «*Валенсия*», приобретенных в розничной торговле.

Суммарное количество каротиноидов определяли прямой спектрофотометрией при длине волны 450 нм [15] на спектрофотометре «*UNICO-2800*», США с модифицированной пробоподготовкой. Экстракцию каротиноидов осуществляли п-гексаном, подбирая оптимальное количество экстрагента необходимое для извлечения всех каротиноидов из апельсинового сока или нектара, и время экстрагирования при постоянном перемешивании. Модификацию пробоподготовки проводили на примере апельсинового нектара «*Фруктовый сад*». Полученные данные суммарного количества каротиноидов в апельсиновых соках и нектарах сравнивали с литературными данными [8-11, 13].

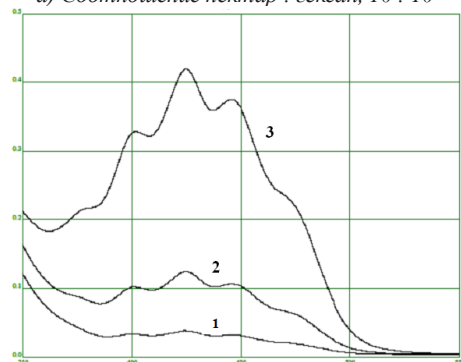
Извлечение каротиноидов из соков более простое, чем из исходного растительного сырья, так как не требует разрушения клеточных структур [13, 16]. Поэтому для установления необходимого количества п-гексана, необходимого для извлечения всех каротиноидов из апельсинового нектара, использовали разное количество нектара и гексана в соотношениях 10:10, 30:10 и 10:30, при этом время экстрагирования варьировали от 10 до 30 минут при постоянном перемешивании.

При использовании для извлечения каротиноидов 10 мл нектара и 10 мл гексана значения оптической плотности гексановых извлечений при 450 нм не превысили 0,05 нм (рис. 1, а). При этом увеличение продолжительности времени экстрагирования повышало значения оптической плотности в 1,4 и 3,6 раза, соответственно для 20 и 30 минут экстрагирования. Увеличение количества нектара для экстрагирования 10-ю мл гексана значительно изменило оптические спектры гексановых извлечений (рис. 1 б). Значения оптической плотности при 450 нм находились в пределах от 0,03 до 0,38, существенно возрастая в зависимости от времени экстрагирования. Экстрагирование в течение 10 минут не привели к существенным изменениям значений оптической плотности гексановых извлечений по сравнению с гексановыми извлечениями 10:10, что говорит о недостаточности перехода всех каротиноидов в экстракт. Увеличение времени экстрагирования до 20 минут повысило значения оптической плотности гексановых извлечений в 3 раза, а при использова-

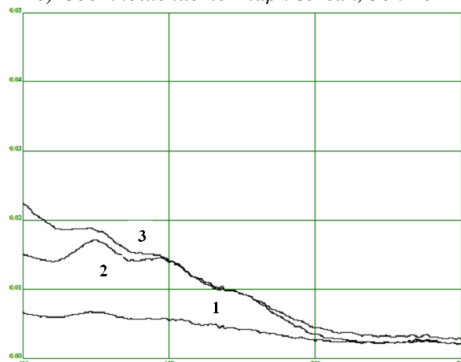
нии времени экстракции 30 минут – дополнительно в 3,7 раза. Использование для извлечения каротиноидов большего в 3 раза количества гексана, чем нектара, не позволило получить адекватные значения оптической плотности гексановых извлечений. 10-ти мл нектара было недостаточным для определения каротиноидов из-за незначительного их содержания в нектаре. В данном случае время экстрагирования не оказывало влияние на значения оптической плотности гексановых извлечений, которые не имели статистически значимых отличий, особенно между 20 и 30 минутами экстрагирования (рис. 1 в).



а) Соотношение нектар : гексан, 10 : 10



б) Соотношение нектар : гексан, 30 : 10



в) Соотношение нектар : гексан, 10 : 30

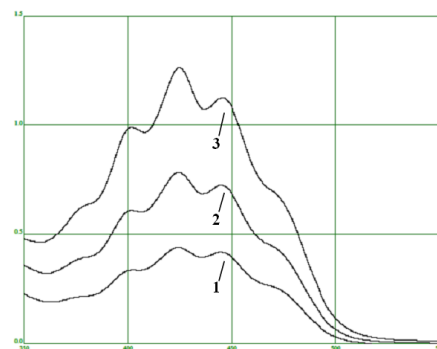
Рисунок 1 – Электронные спектры гексановых извлечений апельсинового нектара «Фруктовый сад» с разным соотношением нектар: гексан и временем экстрагирования: 1 – 10 минут; 2 – 20 минут; 3 – 30 минут

При расчете суммарного количества каротиноидов, значения, имеющие тот же порядок, что и опубликованные другими исследователями, были получены только для гексановых извлечений при соотношении нектар: гексан – 30:10 (табл. 1).

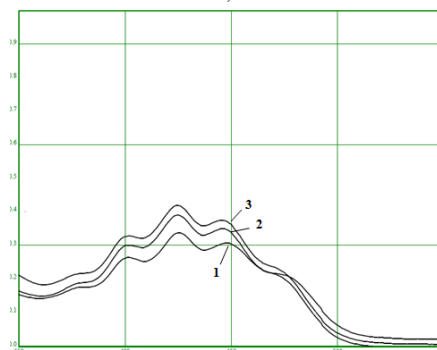
Таблица 1 – Зависимость извлечения суммы каротиноидов от количества апельсинового нектара и экстрагента и времени экстрагирования

Соотношение сок : гексан, мл	Время экстрагирования, мин.	Содержание суммы каротиноидов, мг / 100 мл, в пересчете на β-каротин
10 : 10	10	0,046 ± 0,002
10 : 10	20	0,065 ± 0,002
10 : 10	30	0,169 ± 0,004
30 : 10	10	0,038 ± 0,001
30 : 10	20	0,136 ± 0,003
30 : 10	30	0,451 ± 0,009
10 : 30	10	0,062 ± 0,003
10 : 30	20	0,155 ± 0,007
10 : 30	30	0,153 ± 0,007

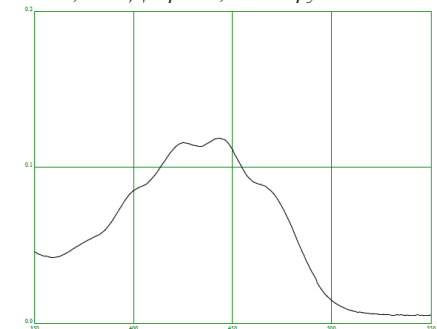
Было проведено исследование суммарного количества каротиноидов в апельсиновых соках и нектарах известных торговых марок. В качестве контроля использовали свежееотжатый апельсиновый сок. Значения оптической плотности гексановых извлечений апельсиновых соков различались между торговыми марками, формируя ряд: «Я» > «J7» > «Rich» (рис. 2 а).



а) апельсиновые соки торговых марок: 1 – «Rich»; 2 – «J7»; 3 – «Я»



б) апельсиновые нектары торговых марок: 1 – «То, что надо»; 2 – «Добрый»; 3 – «Фруктовый сад»



в) свежееотжатый апельсиновый сок (разведение в 3 раза)  
Рисунок 2 – Электронные спектры гексановых извлечений апельсиновых соков и нектаров

В отличие от свежеотжатого апельсинового сока (рис. 2 в), пик при 450 нм, характерный для каротиноидов, был менее выражен, чем пик при 420-425 нм. Это может говорить о частичной деградации каротиноидов в восстановленных соках, что происходит при получении концентрата сока [9, 12, 17]. Такая же закономерность характерна и для нектаров (рис. 2 б), основным сырьем для которых также являются концентрированные соки. В апельсиновых нектарах значения оптической плотности были существенно ниже, чем в соках, но в меньшей степени зависели от торговых марок, хотя при этом формировали ряд: «Фруктовый

сад» > «Добрый» > «То, что надо». Полученные значения оптической плотности гексановых извлечений из апельсиновых соков и нектаров позволили рассчитать суммарное количество каротиноидов в пересчете на  $\beta$ -каротин (рис. 3). Свежеотжатый апельсиновый сок характеризовался наибольшим содержанием суммы каротиноидов, количество которых составило 1,28 мг / 100 мл. В пастеризованных восстановленных апельсиновых соках суммарное количество каротиноидов было меньше, чем в свежеотжатом на 18-49% в зависимости от торговых марок, которые образовали ряд: «Я» > «J7» > «Rich».

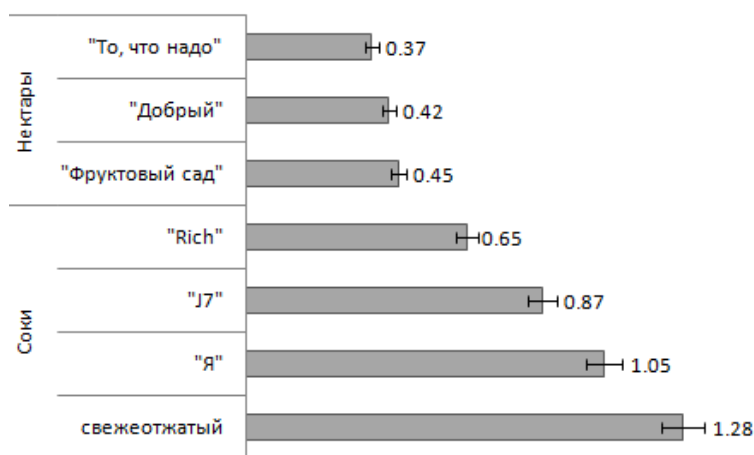


Рисунок 3 – Суммарное содержание каротиноидов в апельсиновых соках и нектарах, мг / 100 мл

Значительные отличия в суммарном содержании каротиноидов между исследуемыми соками могут быть связаны как с разнообразием концентратов апельсинового сока, полученных из разных сортов апельсинов, так и с термической обработкой – пастеризацией соков при разных температурных режимах. Так, под влиянием термообработки (120 сек. при 70°C и 80°C, 15 сек. при 90°C) снижение содержания  $\beta$ -каротина в апельсиновом соке из апельсинов сорта «Dörtüyl Yerli» составило 45,06, 66,11 и 66,70% соответственно, в соке из апельсинов сорта «Alanya Dilimlişi», соответственно, 32,10%, 33,79% и 37,76% [17]. Dhuique-Mayer с соавторами [18] обнаружили уменьшение количества ксантофилла примерно на 30-60% даже после термообработки при 55°C в течение 15 минут, но зеаксантин и лютеин разрушались очень незначительно. Потеря суммарного количества каротиноидов в пастеризованном апельсиновом соке из апельсинов сорта «Валенсия» может составлять от 10 до 12% [9, 19]. Деградация каротиноидов происходит и при микроволновой пастеризации в течение 1 минуты при температурах: 70°C – на 13%, 75°C – 44%, 85°C – 52% [20].

Апельсиновые нектары содержали почти в два раза меньше суммарных каротиноидов, чем в восстановленных апельсиновых соках. Их количество составило 0,37 до 0,45 мг / 100 мл с преимущественным содержанием в апельсиновом нектаре «Фруктовый сад».

**Заключение.** Для определения суммарного коли-

чества каротиноидов в апельсиновых соках и нектарах можно использовать метод прямой спектрофотометрии с предварительным экстрагированием каротиноидов из напитков п-гексаном в соотношении 30 : 10 в течение 30 минут с постоянным перемешиванием.

Апельсиновые соки и нектары, реализуемые на потребительском рынке, содержат каротиноиды, количество которых зависит от вида напитка и торговой марки. В апельсиновых соках промышленной выработки их количество составляет 0,65-1,05 мг/100 мл, в апельсиновых нектарах – 0,37-0,45 мг/100 мл. В свежеотжатом апельсиновом соке суммарное количество каротиноидов больше на 18-49%, чем в апельсиновых соках промышленной выработки.

Биологическая активность и антиоксидантные свойства каротиноидов можно рассматривать как фактор продвижения апельсиновых соков и нектаров на потребительском рынке как напитков для здорового питания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль апельсинового сока // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 6, С. 103-113.
2. Stinco C.M., Fernandez-Vazquez R., Hernanz D., Heredia F.J., Melendez-Martinez A.J., Vicario I.M. Industrial orange juice debittering: Impact on bioactive compounds and nutritional value // Journal of Food Engineering. 2013. № 116. P. 155–161.
3. Martins C. P.C., Cavalcanti R.N., Cardozo T.S.F., Couto S. M., Guimaraes Jo.T., Balthazar C. F., Rocha R. S. Effects of microwave heating on the chemical composition and bioactivity of orange juice-milk beverages // Food Chemistry 2021. № 345. 128746.

4. Нилова Л.П., Выговтов А.А., Малютенкова С.М. Растительное сырье в формировании антиоксидантных свойств сокодержавших напитков // *Международный научный журнал*. 2017. № 4. С. 83-87.
5. Fuente B., Luz C., Puchol C., Meca G., Barba F.J. Evaluation of fermentation assisted by *Lactobacillus brevis* POM, and *Lactobacillus plantarum* (TR-7, TR-71, TR-14) on antioxidant compounds and organic acids of an orange juice-milk based beverage // *Food Chemistry*. 2021. № 343. 128414.
6. Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Флоринская Е.Э. Роль растительного сырья в формировании потребительских свойств ферментированных молочных напитков // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016. № 44. С. 81-86.
7. Дадали В.А., Тутельян В.А., Дадали Ю.В., Кравченко Л.В. Каротиноиды: биодоступность, биотрансформация, антиоксидантные свойства // *Вопросы питания*. 2010. Т. 79. № 2. С. 4-18.
8. Etbach L., Stolle R., Anheuser K., Herdegen V., Schieber A., Weber F. Impact of Dierent Pasteurization Techniques and Subsequent Ultrasonication on the In Vitro Bioaccessibility of Carotenoids in Valencia Orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) Juice // *Antioxidants*. 2020, № 9. P. 534-551.
9. Gama Ju. Ju.T., de Sylos C.M. Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice // *Food Chemistry* 2007. № 100. P. 1686–1690.
10. Lu Q., Peng Yi., Zhu Ch., Pan S. Effect of thermal treatment on carotenoids, flavonoids and ascorbic acid in juice of orange cv. Cara Cara // *Food Chemistry*. 2018. № 265. P. 39–48.
11. De Ancos B., Rodrigo M.J., Sanchez-Moreno C., Cano M.P., Zacarias L. Effect of high-pressure processing applied as pretreatment on carotenoids, flavonoids and vitamin C in juice of the sweet oranges «Navel» and the red-fleshed «Cara Cara» // *Food Research International*. 2020. № 132. 109105.
12. Lu Q., Huang X., Lv S., Pan S. Carotenoid profiling of red navel orange “Cara Cara” harvested from five regions in China // *Food Chemistry*. 2017. № 232. P. 788–798.
13. Zvaigzne G., Kārklina D., Moersel Jo.Th., Kuehn S., Krasnova I., Seglina D. Ultra-high temperature effect on bioactive compounds and sensory attributes of orange juice compared with traditional processing // *Proceeding of the Latvian Academy of sciences/ 2017*. V. 71. № 6. P. 486-491.
14. Stinco C.M., Sentandreu E., Mapelli-Brahm P., Navarro Jo.L., Vicario I.M., Meléndez-Martínez A.J. Influence of high pressure homogenization and pasteurization on the in vitro bioaccessibility of carotenoids and flavonoids in orange juice // *Food Chemistry*. 2020. № 331. 127259.
15. Куркин В.А., Шарова О.В., Афанасьева П.В. Совершенствование методики количественного определения суммы каротиноидов в сырье «шиповника плоды» // *Химия растительного сырья*. 2020. № 3. С. 131-138.
16. Mapelli-Brahm P., Corte-Real Jo., Meléndez-Martínez A.J., Bohn T. Bioaccessibility of phytoene and phytofluene is superior to other carotenoids from selected fruit and vegetable juices // *Food Chemistry*. 2017. № 229. P. 304–311.
17. Bozkir H., Kola O., Duran H., Şimşek M., Kelebek H. Effect of thermal processing on carotenoids of some orange juices // *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2015. V.13 (2). P. 52-57.
18. Dhuique-Mayer C., Caris-Veyrat C., Tbatou M., Amiot M. J., Carail M., Dornier M. Thermal degradation of antioxidant micronutrients in citrus juice: Kinetics and newly formed compounds // *J. Agric. Food Chem*. 2007. № 55. P.4209-4216.
19. Lee H.S., Coates G.A. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *LWT – Food Science and Technology*. 2003. № 36 (1). P. 153–156.
20. Cinquanta L., Fratianni A., Stoduto L., Panfili G. Effect of microwave pasteurization on orange juice color and carotenoid pigments // *5th International Technical Symposium on Food Processing, Monitoring Technology in Bioprocesses and Food Quality Management*. 2009. № 79139.

*Статья поступила в редакцию 26.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 612.392.72

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0025

## LITCHI CHINENSIS КАК ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

© 2021

**Помозова Валентина Александровна**, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Технология инновационного развития»

*Уральский государственный экономический университет*

(620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62, e-mail: pomozo.va@mail.ru)

**Шкрабтак Наталья Викторовна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Экономической теории и государственного управления»

**Фролова Нина Анатольевна**, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»,

*Амурский государственный университет*

(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mails: mmip2013@mail.ru, ninelfr@mail.ru)

**Аннотация.** В последние годы медицина стала уделять большое внимание функциональному питанию, которое выполняет дополнительную функцию, связанную с укреплением здоровья или профилактикой заболеваний. *Litchi chinensis* Sonn. - фруктовое дерево, принадлежащее к семейству *Sapindaceae*. Интерес к этой культуре связан с хорошими качествами ее плодов и высокой питательной ценностью. Целью наших исследований стал анализ химического состава дикорастущих плодов *Litchi chinensis* Sonn. для определения целесообразности использования в производстве функциональных продуктов. В результате проведенных исследований, было установлено, что мякоть плодов *Litchi chinensis* Sonn. богата редуцирующими сахарами (среднее их содержание за анализируемый период составило 20,71%) и пектиновыми веществами (среднее их содержание за анализируемый период составило 2,31%). Выявлено, что мякоть *Litchi chinensis* Sonn. достаточно богата витамином С (среднее его содержание за анализируемый период составило 35,29 мг/100 г). Активность по улавливанию радикалов была связана с уровнями общих фенолов. Это указывает на то, что мякоть *Litchi chinensis* Sonn., богата фенолами (проантоцианидинами, флавоноидами, изофлавонами) и может использоваться в качестве функциональных ингредиентов для пищевых целей.

**Ключевые слова:** личи, химический состав, пищевая ценность, редуцирующие сахара, фенолы, антиоксидантный потенциал.

## LITCHI CHINENSIS AS A BIOLOGICALLY SOURCE ACTIVE SUBSTANCES

© 2021

**Pomozova Valentina Aleksandrovna**, doctor of technical sciences, professor, leading researcher scientific and educational center "Technology of innovative development"

*Ural State University of Economics*

(620144, Russia, Yekaterinburg, st. 8 Marta, 62, e-mail: pomozo.va@mail.ru)

**Shkrabtak Natalya Viktorovna**, doctor of technical sciences, professor of the department of Economic Theory and Public Administration

**Frolova Nina Anatolievna**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Life Safety *Amur State University*

(675027, Russia, Blagoveshchensk, Ignatievskoe highway, 21, e-mails: mmip2013@mail.ru, ninelfr@mail.ru)

**Abstract.** In recent years, medicine has begun to pay great attention to functional nutrition, which performs an additional function related to health promotion or disease prevention. *Litchi chinensis* Sonn. is a fruit tree belonging to the *Sapindaceae* family. Interest in this crop is associated with the good qualities of its fruits and high nutritional value. The aim of our research was to analyze the chemical composition of the wild fruits of *Litchi chinensis* Sonn. to determine the feasibility of using functional products in the production. As a result of the studies carried out, it was found that the pulp of the fruits of *Litchi chinensis* Sonn. are rich in reducing sugars (their average content for the analyzed period was 20.71%) and pectin substances (their average content for the analyzed period was 2.31%). It was revealed that the pulp of *Litchi chinensis* Sonn. sufficiently rich in vitamin C (average content over the analyzed period was 35.29 mg / 100 g. Radical scavenging activity was associated with levels of total phenols. This indicates that the pulp of *Litchi chinensis* Sonn., is rich in phenols (proanthocyanidins, flavonoids, isoflavones) and can be used as functional ingredients for food purposes.

**Keywords:** litchi chinensis sonn., chemical composition, nutritional value, reducing sugars, phenols, antioxidant potential.

**Введение.** В последние годы медицина стала уделять большое внимание функциональному питанию, которое выполняет дополнительную функцию, свя-

занную с укреплением здоровья или профилактикой заболеваний. Поскольку хорошо известно, что неправильное питание и образ жизни могут способствовать

развитию рака, исследования все чаще делают ставку на некоторые защитные компоненты овощей и фруктов обладающих противоопухолевыми свойствами, которые могут оказывать профилактическое воздействие на рак [1].

По мере повышения уровня жизни и осведомленности о здоровье, люди все больше обращают внимание на натуральные продукты, которые могут быть получены на основе местного растительного сырья и обладать особым физиологическим действием [2, 3]. На юго-востоке Китая в провинциях Гуандун и Фуцзянь произрастает *Litchi chinensis* Sonn., которые являются источником витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон и других, жизненно важных нутриентов, необходимых для нормального обеспечения обменных процессов.

*Litchi chinensis* Sonn. – фруктовое дерево, принадлежащее к семейству Sapindaceae, которое достигает до 19 м в высоту. Кора серо-черная, а ветви коричнево-красные. Листья 10-25 см с листочками от двух до четырех пар. Плоды созревают за 80-112 дней, в зависимости от климата, местоположения и сорта. Мясистая съедобная часть плода – это кожица, окружающая одно темно-коричневое несъедобное семя, длиной 1-3,3 см и шириной 0,6-1,2 см [4-6].

Его выращивают в Китае, Шри-Ланке, Тайване, Таиланде, Вьетнаме, Японии, Индии, Бангладеш, Пакистане, Непале, Австралии, Мексике и некоторых частях южной Африки. Индия является вторым по величине производителем личи в мире после Китая [4-6].

Плод известен своими хорошими вкусовыми и функциональными свойствами. Мякоть плодов *Litchi chinensis* Sonn. богата незаменимыми аминокислотами, витаминами, микроэлементами и флавоноидами, которые полезны для человека, поэтому ее употребляют в свежем виде, а также используют в Китае для производства традиционных китайских лекарств [7-9]. Несъедобные части плода *Litchi chinensis* Sonn. также используются в популярной китайской медицине. Экстракт семян *Litchi chinensis* Sonn. оказывает противоопухолевое и проапоптотическое действие на клетки колоректальной карциномы человека [10-12]. Было обнаружено, что антоцианы из перикарпия *Litchi chinensis* сильно ингибируют окисление линолевой кислоты и проявляют дозозависимую активность по улавливанию свободных радикалов [11-13].

В рамках реализации Распоряжения Правительства РФ № 1364-р 29 июня 2016 г. «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», поставлены задачи развития производства пищевых продуктов,

обогащенных незаменимыми компонентами, специализированных продуктов детского питания, продуктов функционального назначения, диетических (лечебных и профилактических) пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище, в том числе для питания в организованных коллективах (трудовые, образовательные и др.).

**Целью** наших исследований стал анализ химического состава дикорастущих плодов *Litchi chinensis* Sonn. в период 2015-2019 гг., для определения целесообразности использования в производстве функциональных продуктов.

**Материалы и результаты исследований.** Статистический анализ проводился с помощью программы *Statistica*. Все аналитические исследования были выполнены в усредненной пробе (из пяти проб в 3-кратной повторности).

Объектами исследований являлись дикорастущие плоды *Litchi chinensis* Sonn.

Массовую долю титруемых кислот определяли методом потенциометрического титрования.

Массовую концентрацию сахаров определяли рефрактометрическим методом.

Определение содержания фенольных соединений и аскорбиновой кислоты проводили спектрофотометрическим методом.

В ходе визуальной оценки плодов дикорастущего *Litchi chinensis* Sonn. установлено, что плоды имеют овальную форму с грубой кожурой красноватого цвета, внутри – беловатая сочная мякоть и округлые темно-коричневые семена (рис. 1).

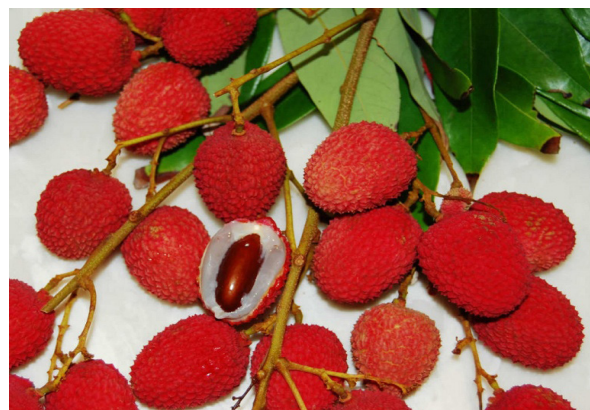


Рисунок 1 – Внешний вид плодов *Litchi chinensis* Sonn.

Плоды средних размеров, массой от 20,3 до 25,6 г. Для *Litchi chinensis* Sonn. характерен сладкий вкус с приятным ароматом, со слабой кислинкой. Вкусовые качества свежих плодов оценивали по разработанной 5-ти балльной шкале (табл. 1).

Таблица 1 - Помологическая характеристика плодов *Litchi chinensis* Sonn.

Год сбора	Помологическая характеристика плодов						
	Диаметр, см	Длина, см	Масса, г	Окраска мякоти	Консистенция мякоти	Отделяемость косточки	Вкус, балл
2015	2,9±0,01	3,7±0,06	20,3±0,03	светлая	желеобразная водянистая	плоды с отделяющейся косточкой	4,9
2016	3,4±0,05	3,1±0,01	22,7±0,07				5,0
2017	3,0±0,04	2,9±0,08	21,1±0,01				4,9
2018	3,1±0,07	3,9±0,03	25,6±0,05				5,0
2019	3,0±0,02	3,5±0,02	25,1±0,01				5,0
Среднее стандартное отклонение плодов (n=65)							

Анализ химического состава свежих плодов *Litchi chinensis Sonn.* проводили на стадии максимальной зрелости сразу после сбора через 95 дней (табл. 2).

В результате проведенных исследований установлено, что мякоть *Litchi chinensis Sonn.* достаточно богата аскорбиновой кислотой, содержание которой варьировалось от 32,63 до 36,74 мг/100 г. Достаточно сладкий вкус плодов обусловлен содержанием редуцирующих сахаров от 19,84 до 21,73 %. Содержание пектиновых веществ варьировалось от 2,16 до 2,42 %. Все части плода *Litchi chinensis Sonn.* (околоплодник,

мякоть и семена) содержат большое количество фенольных соединений.

Содержание фенольных соединений в мякоти *Litchi chinensis Sonn.* играет ключевую роль в обеспечении питательной ценности, поскольку это непосредственно съедобная часть. Установлено, что общее содержание фенольных соединений составило от 179,09 до 207,55 мг/100 г. Считается, что полифенолы обладают свойствами, предотвращающими многие заболевания, включая рак и сердечно-сосудистые заболевания [14-17].

Таблица 2 - Среднестатистические данные химического состава мякоти *Litchi chinensis Sonn.*, 2015-2019 гг

	Год сбора				
	2015	2016	2017	2018	2019
Массовая доля титруемых кислот (в пересчете на лимонную кислоту), %	0,72±	0,68±	0,70±	0,66±	0,70±
Массовая доля редуцирующих сахаров, %	20,52±	19,840,01	21,73±	19,92±	21,56±
Массовая доля пектиновых веществ, %	2,23±	2,38±	2,39±	2,16±	2,42±
Массовая концентрация аскорбиновой кислоты, мг/100 г	35,11±	32,63±	36,74±	36,02±	35,98±
Массовая концентрация фенольных соединений, мг/100 г	203,18±	179,09±	198,61±	207,55±	200,05±

Кроме того, для питания очень важны минералы, особенно микроэлементы. Хотя их дозы невелики (менее 100 мг в день, например, *Fe*, *Cu* или *Zn*), они выполняют очень важные регулирующие функции в организме человека и отвечают за правильное функционирование, например, крови или нервной системы [18-19]. Был исследован уровень некоторых минералов (*Ca*, *Mg*, *Fe*, *Cu*, *Zn* и *Mn*) в мякоти *Litchi chinensis Sonn.* (табл. 3).

Таблица 3 – Минеральный состав мякоти *Litchi chinensis Sonn.*, мг/100 г

Химический элемент	Плоды	Уточненная физиологическая потребность для взрослых согласно МР 2.3.1.2432-08, мг/сут.
Ca	1,78±0,01	1000
Mg	13,05±0,32	400
Fe	0,93±0,04	10- для мужчин, 18-для женщин
Cu	0,12±0,01	1,0
Zn	0,25±0,01	12
Mn	0,06±	2,0

Магний и кальций оказались доминирующими минералами, их содержание составило 13,05 мг/100 г и 1,78 мг/100 г. Отмечалось достаточно высокое содержание железа 0,93±0,04 мг/100 г, и меди, что составляет 9,3% и 12% от суточной нормы соответственно. Поэтому мякоть *Litchi chinensis Sonn.* можно рассматривать как хороший источник железа и меди для организма индивида.

Далее была определена антиоксидантная активность мякоти *Litchi chinensis Sonn.* Антирадикальные свойства мякоти *Litchi chinensis Sonn.* рассчитывались по значению *IC50 DPPH* (мг/г) - концентрации антиоксидантов, которые ингибируют свободные радикалы *DPPH* на 50%. Установлено, что активность по поглощению радикалов кислорода и активность по улавливанию радикалов *DPPH* мякоти *Litchi chinensis Sonn.* составила 1659,32 мкмоль тролокса / 100 г сырой массы и 10,97 мг / г (*IC50*).

Таким образом, плодов *Litchi chinensis Sonn.* содержит значительное количество биологически активных

веществ, благодаря чему могут быть рекомендованы к применению в качестве важного функционального ингредиента для производства пищевых продуктов. Рынок этих продуктов быстро растет, и пищевая промышленность постоянно ищет способы представить новые продукты и / или изменить состав традиционных продуктов. В будущих исследованиях идентификация и выделение новых химических компонентов *Litchi chinensis Sonn.* для разработки конкретных продуктов будет ключевой областью исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пальцев А.И. Образ жизни и здоровье человека.-Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2008. -340 с.
2. Фролова Н.А., Резниченко И.Ю. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ // Вопросы питания. - 2019.- Т. 88 - № 2. - С. 83-90. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10021.
3. Степакова Н.Н., Резниченко И.Ю., Киселева Т.Ф., Шкрабтак Н.В., Фролова Н.А., Праскова Ю.А. Растительное сырье Дальневосточного региона как источник биологически активных веществ // Пищевая промышленность. - 2020. - № 3. - С. 16-21.
4. Duan X. et al. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis Sonn.*) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning //Food Chemistry. – 2007. – Т. 101. – №. 4. – P. 1365-1371.
5. Prasad NK et al. Влияние обработки под высоким давлением на выход экстракта, содержание фенолов и антиоксидантную активность околоплодника плодов личи (*Litchi chinensis Sonn.*) // Международный журнал пищевой науки и технологий. - 2009. - Т. 44. - №. 5. - С. 960-966.
6. Duan X. et al. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis Sonn.*) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning //Food Chemistry. – 2007. – Т. 101. – №. 4. – P. 1365-1371.
7. Duan X., Wu G., Jiang Y. Evaluation of the antioxidant properties of litchi fruit phenolics in relation to pericarp browning prevention //Molecules. – 2007. – Т. 12. – №. 4. – P. 759-771.
8. Sarni-Manchado P. et al. Phenolic composition of litchi fruit pericarp //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2000. – Т. 48. – №. 12. – P. 5995-6002.
9. Ma Q. et al. Flavonoids from the pericarps of *Litchi chinensis* //Journal of agricultural and food chemistry. – 2014. – Т. 62. – №. 5. – P. 1073-1078.
10. Xu X. et al. A-type proanthocyanidins from lychee seeds and their antioxidant and antiviral activities //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2010. – Т. 58. – №. 22. – P.

11667-11672.

11. Yu-Chi Lin, Jia-Chen Chang, Shi-Yie Cheng, Chao-Min Wang, Yun-Lian Jhan, I-Wen Lo, Yuan-Man Hsu, Chia-Ching Liaw, Chi-Chuan Hwang, and Chang-Hung Chou. New Bioactive Chromanes from Litchi chinensis. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2015, 63 (9), 2472-2478.

12. Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity //LWT-Food science and Technology. – 1995. – Т. 28. – №. 1. – С. 25-30.

13. Натович А.А., Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Ноздрина Т.Д. Оценка лечебных свойств плодов Litchi chinensis // Матер. VI международ. науч.-прак. конф., посвященной 130-летию со дня рождения Н.И. Вавилова. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Луганской народной республики; Министерство образования и науки Луганской народной республики; ГОУ ЛНР "Луганский национальный аграрный университет". -2017. - С. 195-196.

14. Bhoopat L. et al. Hepatoprotective effects of lychee (Litchi chinensis Sonn.): a combination of antioxidant and anti-apoptotic activities //Journal of Ethnopharmacology. – 2011. – Т. 136. – №. 1. – С. 55-66.

15. Ren, S.; Zhao, Y.; Wang, Z.; Zhu, H.; Zhang, J. Optimization of extraction and separation process of total flavonoids from Litchi Seed and determination of hypoglycemic activity in vitro. Shizhen Tradit. Chin. Med. 2017, 28, 2834–2837.

16. Hu, L. Study on Changes of Polyphenols in Litchi Pulp During Storage Browning and Microbial Transformation. Ph.D. Thesis, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, China, 2016.

17. Yamanishi R. et al. The anti-inflammatory effects of flavanol-rich lychee fruit extract in rat hepatocytes //PLoS One. – 2014. – Т. 9. – №. 4. – С. e93818.

18. Gurib-Fakim A. Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow //Molecular aspects of Medicine. – 2006. – Т. 27. – №. 1. – С. 1-93.

19. Miura T, Kitadate K, Fujii H (2010) The function of the next generation polyphenol, "Oligonol." In: Bagchi D, Lau FC, Ghosh DK, editors. Biotechnology in Functional Foods and Nutraceuticals. CRC Press: Boca Raton, FL. pp. 91–101.

*Статья поступила в редакцию 18.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 664.001.12/.18

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0026

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПИЩИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

©2021

**Ермошин Николай Алексеевич**, доктор военных наук, профессор, профессор  
Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства  
*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*  
(195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: ermonata@mail.ru)

**Романчиков Сергей Александрович**, доктор технических наук,  
старший преподаватель кафедры материального обеспечения

**Каштанов Юрий Юрьевич**, адъюнкт

**Абушинов Эльвг Вячеславович**, помощник начальника учебно-методического отдела  
Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева  
(199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8,  
e-mails: romanchkovspb@mail.ru, kashtanov\_y@mail.ru, elveg.abushinov@mail.ru)

**Аннотация.** В целях освоения северных территорий необходимо создание инфраструктурных объектов жизнеобеспечения. В системе жизнеобеспечения одним из основных являются технические средства приготовления пищи. Особенности их эксплуатации при низких температурах окружающей среды требуют совершенствование конструкции технологического оборудования производства, хранения и транспортирования продуктов питания. Для достижения требуемых эксплуатационных свойств предлагаются технические решения размещения пищеварочных котлов в транспортных средствах на специальных платформах обеспечивающих приготовление пищи как в стационарном положении так и в движении; модернизация пищеварочных котлов за счет включения в их конструкцию устройства для приготовления пищи под давлением в условиях работы котла в стационарном положении в движении; размещение технологического оборудования приготовления пищи и обслуживания персонала в специально оборудованных теплоизолированных с применением инновационных материалов мобильных продовольственных блоков, монтируемых на шасси базовых транспортных средств как на гусеничном так и на колесном ходу. Работоспособность предлагаемых технических решений подтверждена проведением экспериментальных исследований. Результаты экспериментов свидетельствуют о возможности применения предложенных технических средств приготовления пищи в условиях низких температур. Разработанные технические решения результаты их экспериментальной проверки обеспечивают возможность включения их в состав систем жизнеобеспечения для удовлетворения питанием небольших специализированных команд или бригад задействованных при выполнении работ в условиях Крайнего Севера и Арктической зоны Российской Федерации.

**Ключевые слова:** модификация, транспортное средство, кухня, технологическое оборудование, теплоизоляция, инновация.

## ENSURING THE OPERABILITY OF TECHNICAL MEANS OF COOKING IN LOW AMBIENT TEMPERATURES

©2021

**Ermoshin Nikolai Alekseevich**, doctor of Military Sciences, professor,  
professor Higher School of Industrial, Civil and Road Construction  
*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*  
(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya street, 29, e-mail: ermonata@mail.ru)

**Romanchikov Sergey Aleksandrovich**, doctor of Technical Sciences,  
senior Lecturer of the Department Material Support

**Kashtanov Yuri Yurievich**, adjunct

**Abushinov Elvg Vyacheslavovich**, assistant to the head of the educational and methodological department  
*Military Academy of Logistics named after General of the Army A.V. Khruleva*  
(199034, St. Petersburg, nab. Makarova, 8,  
e-mails: romanchkovspb@mail.ru, kashtanov\_y@mail.ru, elveg.abushinov@mail.ru)

**Abstract.** In order to develop the northern territories, it is necessary to create infrastructure facilities for life support. In the life support system, one of the main ones is the technical means of cooking. The peculiarities of their operation at low ambient temperatures require an improvement in the design of technological equipment for the production, storage and transportation of food products. To achieve the required operational properties, technical solutions are proposed for placing cooking kettles in vehicles on special platforms providing food preparation both in a stationary position and in motion; modernization of cooking boilers by including in their design a device for cooking food under pressure while the boiler is operating in a stationary position in motion; placement of technological equipment for cooking and servicing personnel in specially equipped mobile food blocks, thermally insulated with the use of innovative materials, mounted

on the chassis of base vehicles, both tracked and wheeled. The efficiency of the proposed technical solutions has been confirmed by experimental studies. The results of the experiments indicate the possibility of using the proposed technical means of cooking at low temperatures. The developed technical solutions, the results of their experimental verification, provide the possibility of including them in the composition of life support systems to satisfy the nutrition of small specialized teams or teams involved in performing work in the Far North and the Arctic zone of the Russian Federation.

**Keywords:** modification, vehicle, kitchen, technological equipment, thermal insulation, innovation.

**Введение.** В целях повышения эффективности организации питания военнослужащих в условиях Крайнего Севера и Арктической зоны Российской Федерации [1, 2, 3] и расширения функциональных возможностей предлагается модификация кухни арктической КА-250/30ПМ на базовом шасси ДТ-30ПМ-33.

Сущность модификации сводится к внесению конструктивных изменений и объединению технических устройств для приготовления пищи в составе технологического блока.

**Целью** исследований является разработка технических решений обеспечивающих работоспособности технических средств приготовления пищи в условиях низких температур окружающей среды.

**Материалы и результаты исследования.** Для обеспечения температурных режимов внутри технологического блока, размещенного в цельнометаллическом термоизолированном кузове кухни КА-250/30ПМ (при минус 60 °С наружного воздуха), стенки кузова предложено изготавливать из следующих материалов: наружная обшивка – лист алюминиевый АМГ (толщиной – 2 мм); утеплитель – пенополиуретан ППУ (плотность – 100 кг/м<sup>3</sup>, толщина – 100 мм); внутренняя обшивка – материал композитный из стеклопластика (толщина – 2 мм); каркас – низколегированная сталь 0,9Г2С (категория не ниже 15). Пол предлагается изготавливать из следующих материалов: наружная обшивка – лист алюминиевый АМГ (толщина – 2 мм); утеплитель – пенополиуретан ППУ (плотность – 100 кг/м<sup>3</sup>, толщина – 100 мм); фанера березовая влагостойкая (толщина – 21 мм); внутренняя обшивка – рифленая нержавеющая сталь (серия *AISI* 430, толщина – 0,5 мм). Крепление материалов между собой в единую конструкцию осуществляется клее-клепаным соединением. Конструкция предусматривает специальное сочетание в углах (теплый узел), что обеспечивает отсутствие мостиков холода.

Блок оснащен системами жизнеобеспечения (отопления, вентиляции, освещения и пожаротушения), водоснабжения и электроснабжения. В технологическом блоке расположено основное технологическое оборудование, где осуществляется механическая и кулинарная обработка продуктов питания, а также хранение одной суточной дачи продовольствия на 250 человек и запасов воды на трое суток.

Для повышения эффективности приготовления пищи в движении в технологическом блоке кухни КА-250/30ПМ предусмотрено использовать электрические пищеварочные котлы КП-160МП – 3 шт., КП-100МП – 1 шт. (рис. 1). Новизной электрической схемы КП-160МП является то, что в ее состав включен разъем *FQ14*, обеспечивающий возможность контро-

ля сопротивления тока при работе котла, что повышает соблюдение требований электробезопасности.

Для прямой утилизации паров, сбрасываемых через паровыпускной клапан, к ним подсоединяются вытяжные шланги, соединенные с системой вентиляции. Конструктивные изменения обеспечивают возможность стравливания паров при угле наклона до 45° в любую сторону от вертикали. Это обеспечивается за счет монтирования котлов на нержавеющей пластине, зафиксированной на шарнирном ползуне. Данное техническое решение обеспечивает работу котлов в горизонтальном положении при движении базового шасси по пересеченной местности, что позволяет осуществить своевременный сброс пара в процессе приготовления пищи (рис. 1).

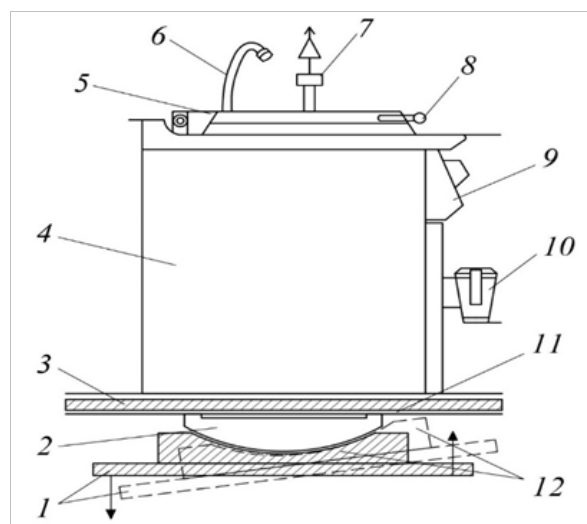


Рисунок 1 – Внешний вид пищеvarочного котла КП-160МП:

- 1 – рама базового шасси; 2 – шарнирный ползун;  
3 – полимерная нержавеющая пластина; 4 – пищеvarочный котел; 5 – подшипниковый материал; 6 – опорная пластина; 7 – клапан; 8 – ручка; 9 – блок управления;  
10 – сливной кран; 12 – крепежная балка

В пищеvarочном котле КП-160МП обеспечивается приготовление горячей пищи и сохранение витаминов исходного сырья посредством повышения давления и температуры. Основные технические характеристики котла КП-160МП представлены в таблице 1.

Стравливание давления через клапан обеспечивает снижение содержания воздуха в варочном сосуде котла, в том числе кислорода, как окислителя. Быстрый сброс давления за счет стравливания пара через клапан приводит к резкому вскипанию жидкости во всем объеме с выделением большого количества пара. Для твердых круп, мяса (КРС, баранина, оленина) такая операция создает эффект «внутреннего взрыва» и

приводит к резкому размягчению, что невозможно осуществить при традиционном способе приготовления пищи.

Таблица 1 – Основные характеристики пищеварочного котла КП – 160МП

Наименование параметров	Значение параметров
Частота тока, Гц	50
Потребляемая электрическая мощность, кВт, не более	18,9
Масса конструктивная, кг, не более	100
Габаритные размеры (ширина, глубина, высота), мм	800×800×900
Количество ТЭНов, шт.	2
КПД, %, не менее	65
Объем воздуха над котлом, необходимый для отсоса, м <sup>3</sup>	1200
Время разогрева котла при повышении температуры воды в варочном сосуде на 75 °С от (20±1) °С, мин, не более	20
Избыточное давление пара в пароводяной рубашке, МПа, не более	0,045
Предохранительный клапан	Согласно ГОСТ 12.2.085
Степень защиты	IP 44
Материал корпуса	Пищевая нержавеющая сталь

На рисунке 2 представлена динамика изменения температуры в котле в зависимости от давления, ко-

торая показывает, что предлагаемое техническое решение обеспечивает повышение давления в 1,6 раза и температуры жидкости внутри варочного сосуда котла на 8–10% по сравнению с традиционным, что ускоряет процесс тепловой обработки продуктов питания.

Дополнительно тепловая обработка пищевых продуктов высоким давлением обеспечивает стерилизацию готовой пищи. Этот щадящий способ обработки позволяет увеличить срок хранения готовой пищи при повышенной влажности воздуха окружающей среды. Кроме того, обработка с использованием высокого давления способствует повышению безопасности пищевых продуктов.

Новизна технического решения по конструктивному изменению кухни состоит в том, что технологическое оборудование для приготовления пищи монтируется в цельнометаллическом термоизолированном кузове (технологическом блоке), обеспечивающем процесс приготовления при температуре наружного воздуха от минус 60°С до плюс 50°С. Модификация конструкции пищеварочного котла обеспечивает приготовление трех блюд в движении базового шасси по пересеченной местности. Это расширяет функциональные возможности предложенной кухни и ускоряет приготовление пищи в 2–3 раза.

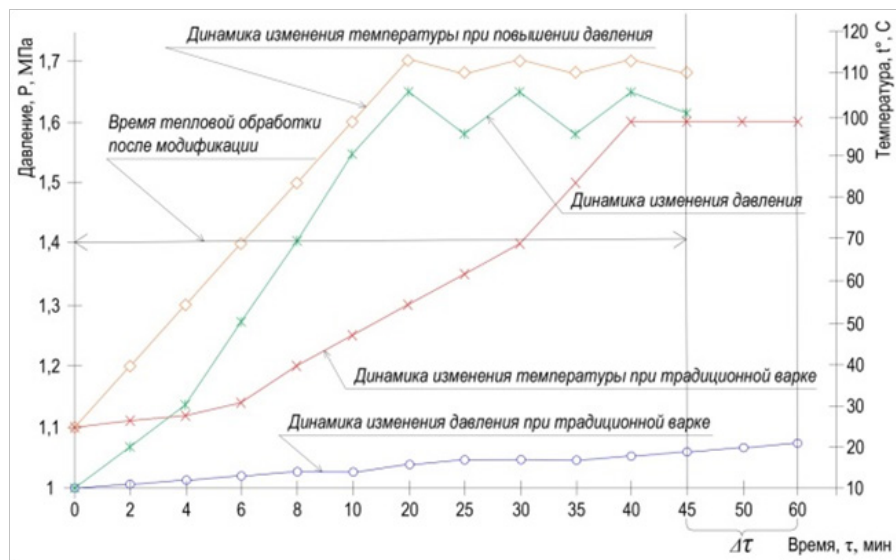


Рисунок 2 – Динамика повышения температуры внутри варочного сосуда пищеварочного котла КП-160МП от повышения давления

Работоспособность модифицированного котла КП-160МП подтверждена проведением экспериментальных исследований и их результатами:

1. Установлено, что модификация пищеварочного котла за счет включения в его конструкцию маятникового подшипника обеспечила возможность приготовления пищи при движении базового шасси. Предложенная конструкция позволяет осуществить сброс пара при угле наклона базового шасси до 45°.

2. Изготовление стенок кузова из предложенных материалов обеспечивает эффект термоса и позволяет осуществлять работу внутри него при отрицательных температурах наружного воздуха без влияния на технологический процесс приготовления пищи.

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Выполнена оценка производительности кухни и возможностей по хранению и содержанию запасов. Наличие технологического оборудования обеспечивает приготовление горячей пищи и кипятка на 250 человек по норме № 1 (общевойсковой паек). Объем возимых запасов продовольствия на 1 сутки на 250 военнослужащих составил 1950 дм<sup>3</sup>. Объем шкафа для хранения продовольствия составляет 2000 дм<sup>3</sup> (2 м<sup>3</sup>), что позволяет осуществить содержание продовольствия – 1 суточной дачи.

2. Автономная система электроснабжения кухни арктической (АСЭС-КА) обеспечивает безопасное



гарантированное электропитание технологического, специального и вспомогательного оборудования (в кузове) кухни арктической в полевых условиях Арктического региона с непрерывным функционированием не менее 72 часов.

3. Объем, который занимают продукты питания на одного питающегося (1 суточная), составляет до 2,8 дм<sup>3</sup>, вместе с дополнительными продуктами (хлеб – 3,2 дм<sup>3</sup> и вода бутилированная – 1,8 дм<sup>3</sup>) – 7,8 дм<sup>3</sup> (буханка (форма № 8 по ГОСТ 17327-95) – 700 г. Объем 700 г хлеба – 6,4 дм<sup>3</sup>).

Технические характеристики КА-250/30ПМ представлены в таблице 2.

3. Установлено, что конструктивное решение по включению в конструкцию котла резервных паровых пусковых клапанов обеспечило возможность приготовления пищи при движении базового шасси. Предложенная конструкция позволяет осуществить сброс пара при угле наклона котла 45°.

4. Конструктивные изменения кухни арктической КА-250/30ПМ позволили повысить соблюдение санитарно-гигиенических условий, теплоизоляционные свойства кузова, ускорить процесс запуска технологического оборудования, снизить нагрузку на обслуживающий персонал.

Таблица 2 – Технические характеристики арктической кухни

Наименование параметра	Значение
Базовое шасси	ДТ-30ПМ-33
Количество довольствующихся, чел.	250, не менее
Количество обслуживающего персонала (включая экипаж ДТ-30ПМ – двух механиков-водителей), чел.	4, не более
Возимые запасы: продовольствия, суточная, не менее	1
воды, л, не менее	800
Вместимость полезная, л, не менее:	
для котла первого блюда	160
для котла второго блюда	160
для котла третьего блюда	160
бака для холодной воды	800
Время нагрева воды в объеме полезной вместимости котлов от 20 до 95°С, мин, не более:	
на электрическом обогреве	60
на паровом обогреве	60
Рабочая температура в жарочном шкафу, °С	150-300
Производительность парогенератора, кг/ч	120, не более
Характеристики вырабатываемого пара, не более:	
температура, °С	110
избыточное давление, МПа	0,05
Время розжига форсунки парогенератора, мин	15, не более
Расход дизельного топлива, кг/ч	10, не более
Мощность основного источника электроэнергии (ДГУ), кВт	100, не более
Мощность резервного источника электроэнергии (ДГУ), кВт	5, не более
Время развёртывания (свёртывания), мин	15

5. Предложенное технологическое оборудование, его расстановка и комплектация обеспечивают соблюдение гигиенических, антропометрических и физиологических показателей, а также возможность приго-

товления пищи и устойчивую работу в движении.

**Заключение.** Таким образом, по результатам испытаний сделаны выводы о целесообразности включения предложенных технических решений в комплект технологического блока арктической кухни КА-250/30ПМ.

Практическая значимость технических решений заключается в повышении эффективности работы кухни за счет конструктивных изменений конструкции пищеварочного котла, позволяющих осуществить устойчивую работу (приготовление пищи) при наклонах под углом 15° в течение 5 минут и в наклонном положении под углом 45° в любую сторону от вертикали в течение 3 минут. Это повышает коэффициент полезного действия кухни на 20–24%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шаронов А.Н., Шаронов Е.А. Научное обоснование и разработка общих технических требований для перспективной техники продовольственной службы. Военно-теоретический труд. –СПб, ВА МТО, изд-во АСТЕРИОН. 2019.1009 с.
2. Фитерер Д.В., Романчиков С.А. Пути совершенствования технических средств продовольственной службы / Д.В. Фитерер, С.А. Романчиков // В сборнике: Актуальные вопросы совершенствования системы технического обеспечения. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) . 2017. С. 141-148.
3. Бабенков В.И., Романчиков С.А. Направления повышения эксплуатационно-технических характеристик технических средств материально-технического обеспечения воинских подразделений в арктической зоне /В.И. Бабенков, С.А. Романчиков //Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. 2019. № 3 (51). С. 16-19.
4. Шаронов А.Н., Шаронов Е.А. Тактико-технические требования к разрабатываемым образцам технических средств// Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № 6 (7). – С. 51-64.
5. Шаронов А.Н., Шаронов Е.А. Разработка арктических технических средств материального обеспечения // Труды ежегодной международной научной конференции: Арктика: история и современность. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С.158-163.
6. Ермошин Н.А., Романчиков С.А. Методологические аспекты научного обоснования технических решений модификации технических средств и технологического оборудования продовольственной службы /Н.А. Ермошин, С.А. Романчиков// Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 100-106.
7. Протокол результатов экспериментальных исследований технико-технологических решений модификации технических средств продовольственной службы. – СПб.: ООО «Проектинтертехника», – 2018. – № 14/ПИТ. – 12 с.
8. Топоров А.В., Коновалов В.Б., Шаронов А.Н., Шаронов Е. А. Разработка тактико-технических требований и оценка технического уровня хлебопекарни арктической: монография. МО РФ, ФГКВУ ВО "Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва". - СПб: Р-КОПИ: ВА МТО, 2017. – 300 с. ISBN 978-5-9909875-9-3.
9. Шаронов А. Н., Ларин И.А., Тимошенко И.А. Исследование проблемных вопросов питания в северных районах. / А. Н. Шаронов, И.А. Ларин, И.А. Тимошенко // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. 2016. № 1 (9). – С. 76-80.
10. Shchepakina M.B., Khandamova E.F., Fitsurina M.S., Kuznetsova O.A., Shumsky N.V. Marketing tools of innovation development management / M.B. Shchepakina, E.F. Khandamova, M.S. Fitsurina, O.A. Kuznetsova, N.V. Shumsky // Espacios. 2018. Vol. 39. № 31. P. 9.
11. Khandamova E.F., Shchepakina M.B., Rodin A.V., Gubin V.A. Structural Industry Modernization as a Factor of Innovative



Development of a Region's Economy // Advances in Economics, Business and Management Research. 2019. Vol. 110. P. 109-114 // <https://www.atlantispress.com/proceedings/emle-19/125930728>.

12. Шаронов А. Н., Выстряков И.В. Тенденции развития технических средств продовольственной службы армий ведущих зарубежных стран / А. Н. Шаронов, И.В. Выстряков // Вестник военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева СПб, № 1. 2015. – С. 45-50.

13. Романчиков С.А. Технические решения приготовления пищи и производства хлеба в полевых условиях /С.А. Романчиков// В сборнике: Материально-техническое обеспечение силовых структур государства. Сборник статей V Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. 2018. С. 377-380.

14. Ефимов, В. В. Средства и методы управления качеством / В. В. Ефимов. - М.: КноРус, 2018. - 226 с.

15. Панфилов, В. А. Теория технологического потока. 3-е изд. / В. А. Панфилов. - М.: ИНФРА-М, 2019. - 319 с.

16. Данилов, И. М. Бенчмаркинг - эффективный инструмент повышения конкурентоспособности / И. М. Данилов, С. Е. Михайлова, Т. П. Данилова. - СПб.: Грофа, 2017. - 343 с.

17. Панфилов, В. А. Теоретические основы пищевых технологий: в 2 книгах. Книга 2 / В. А. Панфилов. - М.: КолосС, 2009. - 799 с.

18. Инновационное развитие техники пищевых технологий / С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, Д. А. Казарцев [и др.]. - СПб.: Лань, 2016. - 660 с.

19. Панфилов, В. А. Продовольственная безопасность России и Шестой технологический уклад в АПК / В. А. Панфилов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2016. - № 1. - С. 10-12.

20. Малинецкий, Г. Г. Чтоб сказку сделать былью... Высокие технологии - путь России в будущее / Г. Г. Малинецкий. - М.: ЛИБРОКОМ, 2014. - 224 с.

21. Майтаков, А. Л. Синергетика технологий производства многокомпонентных продуктов / А. Л. Майтаков, А. М. Попов / Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2018. - Т. 362-363, № 2-3. - С. 112-116.

22. Popov, A. M. Determination of dependence between thermophysical properties and structural-and-phase characteristics of moist materials / A. M. Popov, K. B. Plotnikov, D. V. Donya // Foods and Raw Materials. - 2017. - Vol. 5, № 1. - P. 137-143. DOI: 10.21179/2308-4057-2017-1-137-143.

23. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran / A. Prosekov, O. Babich, O. Kriger [et al.] // Food Bioscience. - 2018. - Vol. 24. - P. 46-49. DOI: 10.1016/j.fbio.2018.05.003

24. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования. Учебное пособие Алексеев Г.В. Санкт-Петербург, 2012.

*Статья поступила в редакцию 08.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 663.813:663.255.6

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0027

**РАСЧЕТ МЕМБРАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МИКРОФИЛЬТРАЦИИ ОВОЩНЫХ СОКОВ**

©2021

**Кувшинова Ольга Александровна**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции

**Кувшинов Алексей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры мобильных энергетических  
средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина

**Носков Евгений Вадимович**, магистрант  
кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции

**Зайцев Вячеслав Олегович**, магистрант  
кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва  
(430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, e-mails: olga-kuvshinova@rambler.ru)*

**Аннотация.** В данной работе представлена методика и результаты расчета микрофильтрационной установки с керамическими мембранными элементами на этапе очистки тыквенного сока. Объектом исследования является тыквенный сок с мякотью, изготовленный по классической технологии в лабораторных условиях. Овощные соки являются ценнейшими источниками легкоусвояемой клетчатки, пектиновых и минеральных веществ. Тыква имеет уникальный биохимический состав, богата β-кератином и калием и рекомендуется при различных заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Следовательно, сок и сокодержащие напитки на основе тыквы служат богатым источником различных витаминов, минералов и антиоксидантов. Актуальной является разработка безотходного и энергосберегающего технологического процесса производства овощных и фруктовых соков с повышенной полезностью для здоровья. Применение мембранных технологий имеет многие преимущества по сравнению с традиционными процессами. Микрофильтрация относится к области мембранной техники и представляет собой фильтрацию через селективно-проницаемые элементы. Необходимо периодически останавливать процесс фильтрации для проведения трудоемкой очистки мембранного канала от загрязнений химическим или механическим путем. Установлено, что наиболее эффективным является принцип поддержания минимальной толщины осадка за счет организации вдоль поверхности фильтрации турбулентного циркуляционного движения концентрируемой фазы. Высокая скорость поперечного потока снижает постоянную фильтрации, что указывает на более медленную скорость загрязнения мембраны. Кроме того, был проведен анализ поверхности и размера частиц для подтверждения результатов моделирования. Рекомендовано перед микрофильтрацией проводить предварительную ферментацию напитка для разрушения коллоидной системы и образования дисперсной фазы. Основными задачами при проектировании мембранных установок указанного назначения являются расчет площади фильтрации, подбор типа мембран в зависимости от состава исходного сырья и требований к осветленному соку, а также определение оптимальных режимов движения пермеата и ретентата в мембранном модуле.

**Ключевые слова:** мембранная технология, микрофильтрация, методика, овощные соки, секционирование, проектирование.

**CALCULATION OF THE MEMBRANE APPARATUS FOR MICROFILTRATION  
OF VEGETABLE JUICES**

©2021

**Kuvshinova Olga Aleksandrovna**, cand.sci., associate professor, associate professor  
of the Department of Mechanization of Agricultural Products Processing

**Kuvshinov Aleksey Nikolaevich**, cand.sci., associate Professor of the Department of Mobile Energy Means and  
Agricultural Machines named after prof. A.I. Leshchankin

**Noskov Evgeniy Vadimovich**, undergraduate  
of the Department of Mechanization of Agricultural Products Processing

**Zaitsev Vyacheslav Olegovich**, undergraduate  
of the Department of Mechanization of Agricultural Products Processing

Mordovia State University named after N.P. Ogareva  
(68, Bolshevitskaya, Saransk, 430005, Russia, phone: +7 (8342) 25-40-89

**Abstract.** This paper presents the method and results of calculating a microfiltration unit with ceramic membrane elements at the stage of pumpkin juice clarification. The object of the study is pumpkin juice with pulp, made according to the classical technology in the laboratory. Vegetable juices are the most valuable sources of easily digestible fiber, pectin and minerals. Pumpkin has a unique biochemical composition, is rich in beta-keratin and potassium and is recommended for various diseases of the gastrointestinal tract. Consequently, pumpkin-based juice and juice drinks are a rich source of various vitamins, minerals, and antioxidants. The development of a waste-free and energy-saving technological process for the production of vegetable and fruit juices with increased health benefits is relevant. The use of membrane

technologies has many advantages over traditional processes. Microfiltration refers to the field of membrane technology and is filtration through selectively permeable elements. It is necessary to periodically stop the filtration process to perform time-consuming cleaning of the membrane channel from contamination by chemical or mechanical means. It is established that the most effective principle is to maintain the minimum thickness of the sediment by organizing the turbulent circulation movement of the concentrated phase along the filtration surface. A high cross-flow rate reduces the filtration constant, indicating a slower rate of membrane contamination. In addition, a surface and particle size analysis was performed to confirm the simulation results. It is recommended to pre-ferment the drink before microfiltration to destroy the colloidal system and form a dispersed phase. The main tasks in the design of membrane installations for this purpose are the calculation of the filtration area, the selection of the type of membranes depending on the composition of the feedstock and the requirements for clarified juice, as well as the determination of the optimal modes of movement of permeate and retentate in the membrane module.

**Keywords:** membrane technology, microfiltration, technique, vegetable juices, sectioning, design.

**Введение.** В настоящее время высок спрос населения на употребление овощей и плодов и продуктов их переработки (соки, сокодержательные напитки). Большое влияние на качество выпускаемых напитков, их питательные и органолептические свойства оказывают выбор исходного сырья, сорта и степени зрелости, а также способ переработки [1-4]. В области пищевой промышленности стоит задача разработки технологий, сохраняющих специфические свойства исходного сырья, его цвет, аромат, вкус и пищевую ценность. Необходимо учитывать требования безопасности для здоровья, удобство составления рецептур и применения продукции, безотходность технологии и стабильность напитков при хранении [5-7].

Традиционные способы получения овощных соков включают несколько периодических операций, достаточно трудоемких и долгосрочных. Альтернативой являются мембранные технологии, в частности микрофильтрация, преимущества которых обусловлены экономичностью, низкими энергозатратами и количеством отходов, повышением качества продукции и упрощением технологического процесса [8-10].

Микрофильтрация заменяет операции осветления и стерилизации, разделяя сок на концентрированную пульпу из волокон и прозрачную фракцию, в которых отсутствуют микроорганизмы порчи. Применение керамических мембран предпочтительно, так как они более стойки к химическому разложению, имеют более долгий срок службы, но хрупки и чувствительны к температурным колебаниям [11-14]. Засорение мембран – комплексное явление и зависит от накопления присутствующих в соке коллоидных частиц на поверхности мембраны в виде осадка, а также от типа закупоривания пор мембраны [15-16]. Большое влияние на процесс фильтрации оказывают технологические параметры – температура, расход, давление и концентрация подаваемого раствора, конструктивные особенности оборудования.

Чаще всего при осветлении соков микро- и ультрафильтрацию используют: в периодическом режиме для концентрирования; в режиме продувки и подпитки и в режиме диафильтрации [17-18]. Во многих овощных соках низкое содержание удерживаемых сухих веществ, поэтому оптимальным рабочим режимом является модифицированный турбулентный режим циркуляции с целью поддержания минимальной

толщины осадка.

В данной работе предложена методика расчета микрофильтрационного блока с непрерывным режимом осветления тыквенного сока после стадии его предварительной ферментации. Этап очистки необходим для улучшения органолептических и микробиологических показателей напитка.

**Материалы и результаты исследований.** Методика расчета состоит из следующих стадий.

1. *Расчет материальных потоков.* Для создания высокой скорости потока в мембранном канале мембранного модуля (рис.1), снижающей скорость отложения осадка на поверхности мембраны, в технологическую схему введен циркуляционный насос высокой производительности сравнительно небольшого напора. Перед входом в аппарат к потоку  $G_0$  исходного сырья с массовой долей дисперсной фазы  $C_0$  добавляется циркулирующий поток ретентата (концентрата) с расходом  $G_0 \cdot n$  и массовой долей дисперсной фазы  $C_R$ .

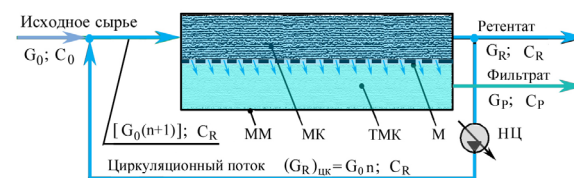


Рисунок 1 – Схема материальных потоков при микрофильтрации

МК – мембранный канал; ММ – мембранный модуль; М – мембрана; НЦ – циркуляционный насос;  $n$  – кратность циркуляции;  $C_0, C_R, C_p$  – массовые доли дисперсной фазы исходного сырья, ретентата и фильтрата;  $G_0, G_R, G_p$  – расход исходного сырья, ретентата и фильтрата;

ТМК – трансмембранный канал

Смешавшись, входной поток  $G_0(n + 1)$  поступает в мембранный модуль, в котором концентрируется с  $C_0$  до  $C_R$ . Поток фильтрата поступает в трансмембранный канал ( $C_p = 0$ ). Циркуляционный контур работает в режиме аппарата идеального смешения (при  $n > 10$ ), следовательно, концентрация в любой точке мембранного канала будет равна  $C_R$ .

Уравнения материального баланса в соответствии со схемой материальных потоков в модуле представляются следующим образом [19]:

$$G_0 = G_R + G_p; \quad (1)$$

– баланс взвешенных веществ

$$G_0 \cdot C_0 = G_R \cdot C_R + C_P \cdot C_P; \quad (2)$$

– массовый поток ретентата (концентрата)

$$G_R = G_0 \frac{C_0 - C_P}{C_R - C_P}; \quad (3)$$

– массовый поток фильтрата

$$G_P = G_0 \frac{C_R - C_0}{C_R - C_P}; \quad (4)$$

– содержание взвешенных веществ (дисперсной фазы) в ретентате

$$C_R = \frac{G_0 \cdot C_0 - G_P \cdot C_P}{G_R} = \frac{G_0}{G_0 - G_P} C_0. \quad (5)$$

Из опыта эксплуатации мембранных установок с керамическими мембранными элементами известно [5], что среднюю скорость  $\bar{w}_R$  потока ретентата в мембранном канале задают не менее 5 м/с. Турбулентный режим движения ретентата при этом способствует минимизации отложений на поверхности мембраны.

2. Исследование реологических характеристик продукта и подбор реологического уравнения. Наиболее распространенным уравнением, используемым для описания реологических свойств псевдопластических сред, является уравнение Оствальда-де-Вилля. Установлено, что реологическое поведение дисперсионной фазы овощного сока (на примере тыквенного) может быть описано следующим образом [20]:

$$\tau = k_0 k_T (d\gamma / dt)^{n-1} = k_0 k_T \dot{\gamma}^{n-1}, \quad (6)$$

где  $\tau$  – касательное напряжение, Па;  $d\gamma/dt$  – скорость сдвига,  $c^{-1}$ ;  $k_0$  – коэффициент консистенции при температуре приведения  $T_0 = 25^\circ\text{C}$ ;  $n$  – индекс течения,  $kT = \exp[E(x)(T^1 - T^{10})/R]$  – коэффициент, отражающий влияние температуры на значение вязкости (коэффициента консистенции);  $E(x)$  – зависимость энергии активации вязкого течения от концентрации растворенных веществ.

3. Определение функции и параметров распределения размеров частиц дисперсной фазы. Данный этап необходим для выбора типоразмера мембран и применения в математической модели процесса мембранной фильтрации. Параметры определяются на лазерном анализаторе ЛАСКА [21] и обрабатываются автоматически.

4. Расчет гидродинамического сопротивления мембранного канала.

4.1 Определение плотности сока и суспензии.

4.2 Расчет объемной доли дисперсной фазы в ретентате.

$$\varphi_f = \frac{V_{\text{дф}}}{V_{\text{дф}} + V_{\text{ж}}}. \quad (7)$$

4.3 Гидродинамическое сопротивление мембранного канала длиной  $l$ :

$$\Delta p_R = \psi l. \quad (8)$$

Гидродинамическое сопротивление находят численным методом с помощью программного комплекса *SolidWorks* и его расчетного модуля *COSMOSFloWorks*.

5. Определение удельного сопротивления осадка в канале. При расчете исходим из допущения, что толщина осадка в условиях турбулентного режима течения ретентата соответствует толщине пограничного

слоя.

Ввиду очевидной сжимаемости частиц дисперсной фазы, сопротивление осадка должно зависеть от давления фильтрования. По результатам известных исследований данного эффекта [22] можно предположить, что искомая зависимость описывается уравнением вида:

$$\rho = \rho_0 + k_p [p_R(z) - p_P]^m, \quad (9)$$

где  $p_R(z)$  – давление ретентата в мембранном канале, Па;  $p_P$  – давление пермеата в трансмембранном канале, Па;  $k_p$  ( $\text{м}^{-1} \cdot \text{Па}^{-m}$ ) и  $m$  – экспериментальные коэффициенты;  $\rho_0$  – удельное сопротивление осадка в отсутствие давления,  $\text{м}^2$ .

Ввиду отсутствия данных о сжимаемости дисперсной фазы яблочного сока будем исходить из того, что при отложении на поверхности мембраны частиц дисперсной фазы под действием напряжений сдвига и разности давлений мембранного и трансмембранного каналов формируется наиболее плотная (гексагональная) структура. При сферической форме частиц и равенстве их диаметров для вычисления удельного гидравлического сопротивления осадка в условиях ламинарного режима фильтрования ( $Re < 1$ ) может быть использована формула Эргана в следующем виде:

$$\rho_0 = 150 \frac{\varphi_{kp}^2}{(1 - \varphi_{kp})^3 d_c^2}, \quad (10)$$

где  $d_c$  – значение наиболее вероятного размера частиц осадка, м.

6. Определение коэффициента суммарной проницаемости мембраны и осадка. Согласно основному уравнению фильтрации:

$$k_I = \frac{1}{\bar{\eta}_3 (R_m + \rho_0 \delta_2)} = \frac{k_T^{-1}}{(k_m^{-1} + \bar{\eta}_3 \rho_0 \delta_2)}, \quad (11)$$

где  $R_m = k_T / (\eta_3 \cdot k_m)$  – коэффициент гидравлического сопротивления мембранного элемента;  $k_m$  – паспортная характеристика проницаемости мембранного элемента.

Среднее значение эффективной вязкости при течениях пермеата в каналах, образованных осадком:

$$\bar{\eta}_3 = \bar{w}_P (d_3)_{oc} \rho_{ж} / (Re_P)_{np} \quad (12)$$

При этом скорость потока рассчитывается по формуле:

$$\bar{w}_P = k_I \Delta \bar{p}_\phi. \quad (13)$$

При среднем перепаде давлений в мембранном и трансмембранном каналах  $\Delta \bar{p}_\phi = 0,5[(p_R)_{ex} + (p_R)_{вых}] - p_P$  число Рейнольдса для пермеата, имеющего псевдопластичное поведение:

$$(Re_P)_{np} = \frac{2^{3-n} \cdot \bar{w}_P^{2-n} (d_3)_{oc}^n \rho_{ж}}{k_T k_0 (3 + 1/n)^n} < Re_{kp} = 1. \quad (14)$$

Интенсивность фильтрации на один мембранный элемент:

$$I_P = k_I S_0 \quad (15)$$

где  $S_0$  – площадь фильтрации,  $\text{м}^2$ .

7. Определение суммарной производительности модулей (рис. 2). Для потока пермеата, поступающего в трансмембранные каналы, при наличии градиента давлений в мембранном канале справедливо (рис. 1):



$$Q_P = \pi d_3 n_k m_3 k_I \int_0^z [\Delta p_{ex} - \psi z] dz = \pi d_3 n_k m_3 k_I z (\Delta p_{ex} - 0,5 \psi z), \quad (16)$$

где  $\Delta p_{ex} = [(\rho_R)_{ex} - \rho_p]$  – трансмембранная разность давлений (движущая сила процесса) на входе в мембранный канал, Па;  $p_p = const$  – избыточное давление пермеата в трансмембранном канале, Па;  $z$  – число каналов керамического мембранного элемента;  $m_3$  – число керамических элементов в мембранном модуле.

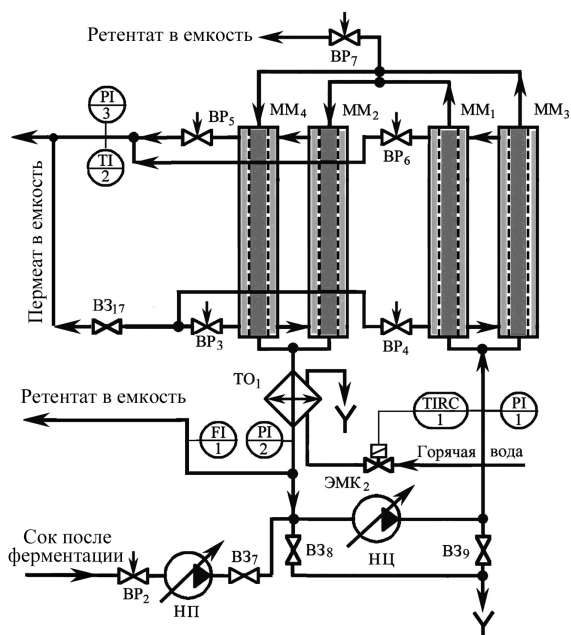


Рисунок 2 – Принципиальная схема микрофльтрационного блока установки для осветления сока

ММ1...4 – модули мембранные; НП – питающий насос;  
ТО1 – теплообменник; НЦ – циркуляционный насос;  
ЭМК2 – клапан электромагнитный;  
ВР – регулирующие вентили; ВЗ – запорные вентили;  
PI1...3 – датчики давления; TI1, TI2 – датчик температуры;  
TIRC1 – регулятор температуры

8. **Расчет потерь давления в трубопроводах.** Площадь сечения труб, соединяющих модули ММ<sub>1</sub>, ММ<sub>2</sub> и ММ<sub>3</sub>, ММ<sub>4</sub> принимается не меньше суммарной площади мембранных каналов каждого модуля.

Потери давления в каждом трубопроводе, соединяющем попарно мембранные модули, определяются по известной формуле [23]:

$$\Delta p_{mp}^{(1)} = 0,5 \bar{w}_R^2 \rho_{жс} (\lambda L / d + \sum \zeta_i), \quad (17)$$

где  $\bar{w}_R$  – принятое значение среднерасходовой скорости ретентата в контуре;  $d=0,04$  м – принятый внутренний диаметр соединительного трубопровода (труба 45 x 2,5 X18Н10Т ГОСТ 8734–75);  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $\rho_c$  – плотность ретентата;  $L=1$  м – принятая длина трубопровода;  $\sum \zeta_i$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений в трубопроводе по принципиальной схеме установки.

Избыточное давление ретентата на входе и выходе мембранных модулей ММ<sub>2</sub> и ММ<sub>4</sub>:

$$(\rho_R)_{ex}^{2-4} = (\rho_R)_{ex} - \psi l - \Delta p_{mp}^{(1)}; (\rho_R)_{ex}^{2-4} = (\rho_R)_{ex} - \psi l. \quad (18)$$

9. **Выбор циркуляционного насоса.** Циркуляцион-

ный насос выбирается после расчета полных потерь давления  $\Delta p_{цк}$  в циркуляционном контуре и избыточного давления  $\rho_{ик}$  на входе в циркуляционный насос.

$$\Delta p_{цк} = 2\Delta p_R + \Delta p_{mp}^{(1)} + \Delta p_{mp}^{(2)} + \Delta p_{mp}^{(3)} + \frac{\rho_c \bar{w}^2}{2}; \quad (19)$$

$$\rho_{ик} = (\rho_R)_{вых}^{2-4} - \Delta p_{mp}^{(2)}$$

10. **Расчет потоков ретентата и пермеата.** Объемная и массовая производительность установки по пермеату (осветленному соку) для четырех мембранных модулей (см. рис. 2):

$$Q_P = (Q_P)^{1-3} + (Q_P)^{2-4}; \quad G_P = \rho_{жс} Q_P. \quad (20)$$

Производительность мембранного блока по тыквенной суспензии, подаваемой на микрофльтрацию, находится по формуле (4) при  $C_p=0$ :

$$G_0 = G_P \frac{C_R}{C_R - C_0} \quad (21)$$

Кратность циркуляции тыквенной суспензии в контуре:

$$n = (Q_R)_{цк} / Q_0 - 1. \quad (22)$$

Производительность мембранного блока по ретентату – отходу производства рассчитывается из формулы (1). Подающий насос подбирается исходя из величины потока овощной суспензии  $Q_0 = G_0 / \rho_{жс}$ .

Расчет микрофльтрационного блока приведен для следующих параметров: длина мембранного элемента  $l = 1178$  мм, диаметр  $d_3 = 6$  мм, площадь фильтрации  $S_0 = 0,2$  м<sup>2</sup> и его селективность  $500$  kD.

Экспериментально установлено, что в тыквенном соке массовая доля растворенных веществ составляет  $x = 9,2\%$ , а массовая доля дисперсной фазы после ферментного разрушения осадка –  $C_0 = 0,5...0,7\%$  с вероятным размером  $d_4 = 2 \cdot 10^{-6}$  м. При массовой доле дисперсной фазы в ядре потока ретентата  $C_R = 0,2$  получены следующие значения:  $\rho_{жс} = 1040$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_c = 1098$  кг/м<sup>3</sup>;  $V_{off} = 0,163$  м<sup>3</sup>;  $\varphi_f = 0,163$ . Поправочные коэффициенты для температуры фильтрации  $T = 313$  К составляют:  $k_D = 1,7$ ;  $k_T = 0,72$  и  $E(x) = 16730$  Дж/моль. Значение циркулирующего потока ретентата для одного канала составляет  $(Q_R)_{цк} = 1,41 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с. Градиент давлений в мембранном канале равен  $\psi = 112$  кПа/м, а гидродинамическое сопротивление мембранного канала  $\Delta p_R = 132$  кПа.

Исходя из наиболее вероятного размера частиц осадка сока после ферментации  $d_4 = 2 \cdot 10^{-6}$  м, полученные следующие результаты: толщина пограничного слоя  $\delta_2 = 80 \cdot 10^{-6}$  м; эквивалентный диаметр каналов, образованных частицами в слое осадка,  $(d_3)_{oc} = 4,68 \cdot 10^{-7}$  м; коэффициент суммарной проницаемости мембраны и осадка  $k_I = 2,1 \cdot 10^{-9}$  (м/с)/(Па)  $\approx 760$  л/ч/(м<sup>2</sup>·бар). При общей площади фильтрации восьмиканального мембранного элемента  $S_0 = 0,2$  м<sup>2</sup> интенсивность фильтрации на один элемент составит  $I_p = 152$  (л/ч)/бар. Скорости потока  $\bar{w}_P = 4,65 \cdot 10^{-4}$  м/с отвечает значение

$(Re_R)_{mp} = 1,57 \cdot 10^4$ , что подтверждает правомерность использования формулы Эргана [24]. При этом среднее значение эффективной вязкости фильтрата составляет  $\bar{\eta}_\sigma = 1,44 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

С целью минимизации толщины осадка на фильтрующих поверхностях элементов трансмембранная разность давлений принята из условия  $\Delta p_{\text{ex}} \leq 200$  кПа, тогда избыточное давление ретентата на входе в мембранные модули составит  $(\rho_R)^{l-3}_{\text{ex}} = 400$  кПа при избыточном давлении пермеата в трансмембранном канале  $p_p \geq 200$  кПа. Принято к установке в мембранные модули  $MM_1$  и  $MM_3$  по пять керамических восьмиканальных элемента, тогда при  $z=l=1,178$  м имеем для суммарной производительности указанных модулей по пермеату  $(Q_p)^{l-3} \approx 1800$  л/ч.

Потеря давления на участке трубопровода, соединяющем циркуляционный насос с мембранными модулями  $MM_2$  и  $MM_p$ , составляет  $\Delta p_{mp}^{(2)} \approx 112$  кПа, а в трубопроводе, соединяющем циркуляционный насос с мембранными модулями  $MM_1$  и  $MM_3$ ,  $\Delta p_{mp}^{(3)} \approx 48,6$  кПа. Избыточное давление  $(\rho_R)^{l-3}_{\text{ex}}$  на входе в мембранные модули  $MM_1$  и  $MM_3$  должно составлять не менее 408 кПа. Мощность, потребляемая электродвигателем насоса НЦ, составляет 7,6 кВт.

Производительность микрофильтрационного блока по пермеату (осветленному соку) составляет  $Q_p \approx 3600$  л/ч ( $G_p = 3744$  кг/ч), исходной тыквенной суспензии –  $G_0 = 3860$  кг/ч; ретентату (отходу производства) –  $G_R = 117$  кг/ч, что составляет около 3,2% от количества осветленного сока. Величина циркуляционного потока ретентата для обеспечения указанной производительности должна быть не менее  $(Q_{R\sigma})_{\text{ук}} = 40600$  л/ч при кратности циркуляции  $n = 11,6$ .

**Заключение.** Исходя из полученных результатов к установке в качестве циркуляционного насоса выбран центробежный насос марки *F 50/250 B («Pedrollo»* Италия) с подачей 50 м<sup>3</sup>/ч, напором 540 кПа, мощностью привода 15 кВт.

Исходя из требуемого значения фильтруемого потока тыквенной суспензии  $Q_0 = 3,51$  м<sup>3</sup>/ч, в качестве питающего насоса выбран пищевой центробежный насос марки *HF 51 A («Pedrollo»* Италия) с подачей 8 м<sup>3</sup>/ч, напором 184 кПа, мощностью привода 0,72 кВт.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лукашук Ю.А. Технология и оценка качества тыквенного сока в зависимости от сорта // Студенческая наука – агропромышленному комплексу. Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета. 2019. С. 54-56.
2. Кузибаева Ф.К., Николаенко С.Н. Технология и биохимический состав сокодержательных напитков на основе тыквы // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки. Материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых. В 3 томах. 2020. С. 134-138.
3. Лимарева Н.С., Донченко Л.В. Моделирование рецептур пектинодержательных напитков на основе тыквенного сока // Современная наука и инновации. 2015. № 4 (12). С. 50-56.
4. Лищенко А.Н. Критерии натуральности овощных соков // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 4 (47). С. 123-129.
5. Бундаева М.А., Ошина Т.В., Водяков В.Н. Лаборатор-

ная обработка техпроцесса получения осветленного тыквенного сока // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения первого декана факультета механизации сельского хозяйства МГУ им. Н. П. Огарева доцента Д. С. Пилипко (1913 – 1989 гг.). Саранск, 2013. С. 159-164.

6. Нурымхан Г.Н., Акчина Г.А. Изучение использования тыквы при получении сокодержательного напитка // Современное состояние, перспективы развития молочного животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции. Материалы международной научно-практической конференции. Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Институт международного образования. 2016. С. 327-330.

7. Лимарева Н.С., Донченко Л.В., Касьянов Г.И. Исследование минерального состава пектино-содержащих напитков на основе тыквенного сока // Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья; импортозамещение. Сборник материалов международной научно-практической конференции. 2016. С. 174-177.

8. Полянский К.К., Титов С.А., Шахов С.В., Корышева Н.Н., Ключникова Д.В. Подготовка сырья для напитков на основе молочной сыворотки и яблочного сока с применением баромембранных технологий // Сыроделие и маслоделие. 2019. № 1. С. 43-45.

9. Подгорнова Н.М., Петров С.М. Применение керамических мембран при осветлении и пастеризации соков для детского питания // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2019. № 12. С. 199-203.

10. Кудряшов В.Л. Роль и эффективность мембранных процессов при модернизации пищевой промышленности // Пищевая промышленность. 2012. №10. С.14-18.

11. Emani S., Uppaluri R., Purkait M. K. Preparation and characterization of low cost ceramic membranes for mosambi juice clarification // Desalination. V. 317. 2013. P. 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.02.024>

12. Lachowicz S., Oszmiański J., Kolniak-Ostek J., Stokłosa D. Effect of different sizes of ceramic membranes in the process of microfiltration on physicochemical parameters of chokeberry juice // European Food Research and Technology. 2019. V. 245. P. 1263–1275.

13. Sujoy Bose, Chandan Das. Role of Binder and Preparation Pressure in Tubular Ceramic Membrane Processing: Design and Optimization Study Using Response Surface Methodology (RSM) // Ind. Eng. Chem. Res. 2014. V. 53. T. 31, P. 12319–12329. <https://doi.org/10.1021/ie500792a>.

14. Guotong Qin, Xueqian Lu, Wei Wei, Jiajia Li, Ruyue Cui, Shixuan Hu. Microfiltration of kiwifruit juice and fouling mechanism using fly-ash-based ceramic membranes // Food and Bioproducts Processing. V. 96. October 2015. P. 278-284.

15. Alfredo Cassano, Giorgio De Luca, Carmela Conidi, Enrico Drioli. Effect of polyphenols-membrane interactions on the performance of membrane-based processes. A review // Coordination Chemistry Reviews. V. 351. 15 November 2017. P. 45-75.

16. Аверина Ю.М., Курбатов А.Ю., Сахаров Д.А., Субчева Е.Н. Разработка технологии получения нано-фильтрационных керамических мембран // Стекло и керамика. 2020. № 3. С. 22-27.

17. Русанова Л.А., Тюплева Е.В. Исследование технологических факторов, влияющих на характеристики разделения мембран при осветлении соков // Сфера услуг: инновации и качество. 2014. № 20. С. 43-64.

18. Кузнецова Е.А. Получение ягодного сока функционального назначения с использованием мембранной технологии // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2016. № 4. С. 177-183.

19. Гришин С.С. К вопросу математического моделирования мембранных процессов фильтрования // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 10 (132). С. 57-60.

20. Шаповалов В.М. О применимости модели Оствальда-де-Вилля для решения прикладных задач // Инженерно-физический журнал. 2017. Т. 90. № 5. С. 1275-1281.

21. Кувшинова О.А., Сардаева М.Н. Методика работы на

лазерном анализаторе «ЛАСКА-1К» // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. межвузовский сборник научных трудов. Саранск, 2016. С. 268-273.

22. Водяков В.Н., Кузнецов В.В., Кувшинова О.А., Паксеваткин Е.Н. Гидродинамическая модель нестационарного процесса проточной микрофльтрации соков // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 3. С. 8-11.

23. Водяков В.Н., Пяткин П.Н., Архипкина Ю.А. Гидродинамический анализ аксиального движения фаз геля и ретентата в мембранном канале // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: материалы Всерос. Науч.-тех. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. С.365-371.

24. Самохвалов Н.М., Нестерова Т.Ю., Виноградов В.В. Гидравлическое сопротивление щелевой фильтрующей перегородки // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81). С. 235-239.

*Статья поступила в редакцию 17.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 641.13

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0028

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ВИДА СЫРЬЯ В РЕЦЕПТУРАХ  
ТЕСТОВОЙ ОБОЛОЧКИ БЛИНЧИКОВ**

© 2021

**Смолянова Аля Павловна**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры «Пищевые производства»

**Волошина Марина Олеговна**, ассистент кафедры «Пищевые производства»

**Селезнева Елена Сергеевна**, студентка кафедры «Пищевые производства»

*Пензенский государственный технологический университет*

*(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11,*

*e-mails: Alyasmol@mail.ru, mari6ka\_o\_g@list.ru, Lilyanezboreczkij@inbox.ru)*

**Аннотация.** В настоящее время актуальной становится проблема повышение культуры питания. Рациональное здоровое питание обеспечивает гармоничное физическое и нервно-психическое состояние. Актуальным становится направление научных исследований, связанное с расширением мучных кулинарных изделий из растительного нетрадиционного сырья, которые характеризуется повышением качества используемого сырья, пищевой и биологической ценностью готовой продукции, а также расширением ассортимента. Одним из таких видов сырья является шиповник (*Rōsa*), ламинария (*Laminaria*) и псиллиум (*psyllium*). В результате сравнительной оценки качественных и органолептических показателей опытных образцов, установлено преимущество мучных кулинарных изделий с частичной заменой пшеничной муки на порошок шиповника (образец 2) и ламинарии (образец 3) Рассчитана пищевая и энергетическая ценность готовых изделий, которая свидетельствует о высоком качестве и отличных вкусовых достоинствах.

**Ключевые слова:** блинчики, нетрадиционное растительное сырье, пищевая и энергетическая ценность, органолептические показатели, витамины, минеральные вещества.

**THE USE OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS IN RECIPES TEST SHELL OF PANCAKES**

© 2021

**Smolyanova Alya Pavlovna**, candidate of agricultural Sciences, associate Professor «Food production»

**Voloshina Marina Olegovna**, assistant the department «Food Production»

**Selezneva Elena Sergeevna**, student of the Department «Food Production»

*Penza State Technological University*

*(440039, Russia, Penza, travel Baydukov/Gagarin Street, 1A/11,*

*e-mails: Alyasmol@mail.ru, mari6ka\_o\_g@list.ru, Lilyanezboreczkij@inbox.ru)*

**Abstract.** At present, the problem of improving the food culture is becoming urgent. A rational healthy diet ensures a harmonious physical and neuropsychiatric state. The direction of scientific research related to the expansion of flour culinary products from non-traditional vegetable raw materials, which is characterized by an increase in the quality of the raw materials used, the food and biological value of the finished products, as well as the expansion of the range, is becoming relevant. One of these raw materials is rosehip (*RsaSa*), laminaria (*Laminaria*) and psyllium (*psyllium*). As a result of a comparative assessment of the quality and organoleptic parameters of the prototypes, the advantage of flour culinary products with a partial replacement of wheat flour with rosehip powder (sample 2) and kelp (sample 3) was established, the nutritional and energy value of the finished products was calculated, which indicates high quality and excellent taste advantages.

**Keywords:** pancakes, non-traditional vegetable raw materials, food and energy value, organoleptic parameters, vitamins, minerals.

**Введение.** В настоящее время 60% россиян имеют крайне низкую адаптацию к условиям жизни внешней и внутренней среды, у 10% выявлены факторы риска различных заболеваний, 25% – больны и только 5% – здоровы. Основными причинами неинфекционных заболеваний, носящий массовый характер в структуре заболеваемости и смертности населения России, являются круглогодичные дефициты в рационах питания всех категорий людей, биологически ценных основных пищевых веществ, таких как эссенциальных макро – и микронутриентов, витаминов, пищевых волокон, что напрямую влияет на рост, развитие, репродуктивную способность человека, обеспечивает как физическое, так и психическое благополучие [1, 2].

В последние несколько лет большее внимание уделяется здоровому питанию людей, обогащая продукты разнообразными добавками, используя различные природные источники, которые позволяют улучшить не только органолептические и физико-химические показатели пищи, но и повысить пищевую ценность готовых мучных изделий [3-6].

Наиболее перспективным направлением при разработке новых рецептов является использование биологически активных компонентов. Добавляя растительные ингредиенты, готовый продукт обогащается недостающими нутриентами, увеличивая при этом свою пищевую ценность. Таким образом, для пищевого производства представляет интерес использование



нетрадиционного сырья растительного происхождения [7-10].

Шиповник – это растительный продукт, полезные свойства которого использовались с давних времен. Полезные вещества входящие в его состав, несут значительную пользу организму, улучшая работу органов и восстанавливая иммунитет [11]. Целебные свойства шиповника обусловлены содержанием витаминов и минералов. Порошок шиповника содержит целый ряд веществ: витамины группы *B, PP, E, K A*, кальций, фтор, магний, хром, железо, калий марганец, цинк, медь, водорастворимая клетчатка (пектины), яблочная и лимонная кислота. Красный пигмент растения ликопин является одним из антиоксидантов. Плоды также содержат дубильные вещества, эфирные масла и гликозидные соединения [12-13].

Псиллиум, испагол или исфагула — это измельченные отруби, которые изготавливают из шелухи семян подорожника блошиного, произрастающего на территории Индии и Пакистана. Псиллиум не обладает выраженным вкусом, не имеет постороннего привкуса. Основная ценность псиллиума — растворимая клетчатка, что составляет 71% по отношению к остальным составляющим. Для сравнения: в овсяных отрубях 5% растворимой клетчатки. Благодаря такому составу продукт завоевал популярность у лиц, придерживающихся низкоуглеводной диеты [14].

В состав псиллиума входит гемицеллюлоза включающая неперевариваемые полисахариды, арабинозу (простые углеводы), ксилозу (моносахарид из группы «древесного сахара»), галактуроновую кислоту (органическая кислота, образующаяся при окислении галактозы), небольшое количество аубигина – вещества, по своему строению и действию на организм аналогичного алкалоидам. Подобный состав объясняет, почему популярен и для чего нужен псиллиум. При соединении с влагой образуется слизь повышенной вязкости – соединение на 10% крепче связывает жидкость, чем крахмал. Свойство сохраняется при повышении кислотности до pH 10, при увеличении температуры до 50°C, при соединении с солью – в 15-18% рассоле. Это позволяет широко использовать продукт в пищевой и медицинской промышленности. Большая часть псиллиума состоит из растворимой клетчатки, которая служит питательной средой для полезной микрофлоры кишечника. Пищевые волокна способствуют снижению уровня сахара в крови. Рецепты с

псиллиумом можно включать в рацион людей с диабетом. Гликемический индекс продукта составляет 42 ЕД [15-16].

Морская капуста ламинария – используется в пищу для восполнения суточной дозы йода, который благотворно влияет на функцию щитовидной железы. В состав морских водорослей входит целый комплекс макро- и микроэлементов таких как фосфор, натрий, железо, магний, йод, также витамины *B, E, A, C и D* [17-18]. Для продуктов питания функциональной направленности ламинарию широко применяют при производстве различных видов хлеба и хлебобулочных изделий, кондитерских изделий, кисломолочных продуктов и творога, а также сладких блюд [19].

**Целью** исследования явилась разработка рецептур блинчиков с добавлением 10% измельченного порошка шиповника (образец 2), 10% измельченного псиллиума (образец 3) и 10% измельченного порошка капусты морской ламинарии (образец 4).

**Материалы и результаты исследования.** Контрольным образцом при разработке рецептур блинчиков тестовой оболочки послужила рецептура № 679 Блинчики-полуфабрикат (оболочка) (образец 1) [20], вырабатываемой из муки высшего сорта. В качестве объектов исследования были выбраны экспериментальные образцы:

- образец 1 – блинчики (контроль);
- образец 2 – блинчики с добавлением 10% порошка шиповника;
- образец 3 – блинчики с добавлением 10% порошка морской капусты ламинарии;
- образец 4 – блинчики с добавлением 10% порошка псиллиума.

Нетрадиционное растительное сырье вносилось на первоначальном этапе замеса теста заменяя частично пшеничную муку. Выпекание блинчиков тестовой оболочки проводилось на сковороде с обеих сторон с использованием растительного масла, после чего блинчики снимали и охлаждали. Готовые изделия, подвергали органолептической оценки по пяти бальной шкале согласно ГОСТ 31986-12. Рассчитана пищевая и энергетическая ценность блинчиков расчетно-аналитическим методом.

В зависимости от вида используемого нетрадиционного растительного сырья, были рассчитаны рецептуры полуфабрикатов тестовой оболочки блинчиков, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура блинчиков тестовой оболочки

Наименование сырья	Расход сырья на 1 кг изделий, г			
	Образец 1 - контроль	Экспериментальные образцы		
		Образец 2 - шиповник	Образец 3 - ламинария	Образец 4 - псиллиум
		Количество, 10%		
Мука пшеничная (высший сорт)	416,0	273,71	273,71	273,71
Шиповник (порошок)	-	30,59	-	-
Ламинария	-	-	34,86	-
Псиллиум	-	-	-	35,57
Молоко	1040,0	1040,0	1040,0	1040,0
Яйца	83,0	83,0	83,0	83,0
Сахар	25,0	25,0	25,0	25,0
Соль	8,0	8,0	8,0	8,0
Итого сырья	1572,0	1460,3	1464,6	1465,3

Нетрадиционное высушенное сырье предварительно измельчалось до тонкого помола с фракцией 50-100 микрон.

Для приготовления блинного теста применена классическая рецептура блинчиков, предусматривающая приготовление однородной массы теста путем размешивания яиц, соли, сахара в части холодного молока (50% нормы), с последующим постепенным введением в массу различного наименования нетрадиционного растительного сырья и оставшегося молока до получения жидкого теста (влажность 66%), с вливанием растительного масла в конце замеса, с после-

дующим выпеканием блинчиков [20].

Добавление в рецептуру высушенных и измельченных компонентов шиповника, ламинарии и псиллиума привело к изменению цвета и вкуса готовых изделий.

Установлено, что замена пшеничной муки на нетрадиционное растительное сырье в количестве 10% в рецептуру полуфабриката блинчиков приводит к более высокой органолептической оценке.

Результаты оценки органолептических показателей показаны в таблице 2, внешний вид образцов – на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид тестовой оболочки блинчиков:  
а) контрольный образец, б) с добавлением 10% порошка шиповника,  
в) с добавлением 10% порошка ламинарии, г) с добавлением 10% порошка псиллиума

Таблица 2 – Органолептические показатели испытуемых образцов

Наименование показателя	Образец 1 (контроль)		Образец № 2 (10% шиповника)		Образец № 3 (10% ламинарии)		Образец № 4 (10% псиллиума)	
		Балл		Балл		Балл		Балл
Поверхность	Гладкая, ровная, не имеющая трещин, сквозных отверстий, подрывов, с мелкой равномерной пористостью, края подсохшие, посторонние включения отсутствуют	5	Гладкая, видны единичные вкрапления порошка шиповника, трещин и сквозных отверстий не имеет, пористость мелкая, края подсохшие	5	Гладкая, хорошо видны вкрапления порошка ламинарии, трещин и сквозных отверстий не имеет, пористость мелкая, края подсохшие	5	Гладкая с неровной окраской, без трещин и сквозных отверстий, пористость мелкая, равномерная края подсохшие	4
Консистенция	Мягкая, не подсохшая, эластичная, однородная, не липкая, свойственная поджаренному пресному тесту	5	Мягкая, не подсохшая, эластичная, однородная, не липкая, свойственная поджаренному пресному тесту с небольшими включениями порошка шиповника	5	Мягкая, не подсохшая, эластичная, однородная, не липкая, свойственная поджаренному пресному тесту с небольшими включениями порошка ламинарии	5	Мягкая, не подсохшая, эластичная, однородная, вязкая	4
Цвет	Равномерный, кремовый с небольшим закалом	5	Желтый с оранжевыми вкраплениями, с небольшим закалом	5	Зелено-серый с темно-зелеными вкраплениями, с небольшим закалом	5	Неравномерный с закалом по краям	4
Запах	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха	5	Свойственный данному виду изделий с едва уловимым ароматом шиповника	5	Свойственный данному виду изделий с едва уловимым ароматом йода	5	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха	5
Вкус	В меру соленый, свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	5	В меру соленый, свойственный данному виду изделий, с приятным сладковатым послевкусием	5	В меру соленый, свойственный поджаренному пресному тесту, с приятным привкусом ламинарии	5	В меру соленый, свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	4

\* Показатели определялись в продукции, прошедшей тепловую обработку

Итоги дегустационной оценки испытуемых образцов позволили установить, что образец 2 и образец 3 обладают более выраженными вкусовыми качествами

с приятным послевкусием, гармоничный аромат шиповника и слегка уловимым ароматом йода. Образец 4 – не отличался дополнительными вкусовыми и аро-

матическими характеристиками в сравнение с контролем и имел неравномерную поверхность. Результатом послужило снижение оценки некоторых органолепти-

ческих показателей.

Расчетные результаты определения пищевой и энергетической ценности представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ пищевой ценности разработанных мучных кулинарных изделий

Наименование основных пищевых веществ и энергетическая ценность	Рекомендуемый уровень суточного потребления [21]	Образец 1 (контроль)		Образец 2- (10% шиповник)		Образец № 3 (10% ламинарии)		Образец № 4 (10% псиллиума)	
		Содержание пищевых веществ в 100 г продукта	Степень удовлетворения суточной, %	Содержание пищевых веществ в 100 г продукта	Степень удовлетворения суточной, %	Содержание пищевых веществ в 100 г продукта	Степень удовлетворения суточной, %	Содержание пищевых веществ в 100 г продукта	Степень удовлетворения суточной, %
Белки, г	75	8,69	11,6	7,23	9,6	7,16	9,6	7,29	9,7
Жиры, г	83	3,06	3,7	2,91	3,5	2,88	3,5	2,89	3,5
Углеводы, г	365	36,62	10,0	28,15	7,7	26,78	7,3	26,68	7,3
в том числе, моно - и дисахариды (сахара), г	65	7,96	12,2	9,10	14,0	7,84	12,1	10,57	16,3
Пищевые волокна, г	30	1,46	4,9	1,67	5,6	0,98	3,3	3,71	12,4
Минеральные вещества:									
Калий, мг	5000	214,36	4,3	168,53	3,4	230,81	4,6	231,5	4,6
Кальций, мг	1000	139,87	14,0	139,15	13,9	238,71	13,9	147,77	14,8
Магний, мг	400	22,39	5,6	20,63	5,2	26,04	6,5	20,14	5,0
Железо, мг	14	0,84	6,0	0,76	5,4	1,23	8,8	1,28	9,1
Йод, мкг	150	11,64	7,8	11,43	7,6	98,55	65,7	11,43	7,6
Витамины:									
Витамин А, мкг	800	31,98	4,0	56,97	7,1	32,07	4,0	31,98	4,0
бета Каротин, мг	5	0,17	3,4	0,32	7,4	0,17	3,4	0,17	3,4
Витамин С, мг	60	1,35	2,3	31,94	53,2	1,42	2,4	1,35	2,25
Энергетическая ценность, кДж	10464	835,3	8,0	672,69	6,4	648,91	6,2	649,87	6,2
Энергетическая ценность, ккал	2500	199,5	8,0	160,67	6,4	154,99	6,2	155,22	6,2

**Заключение.** Представленные результаты сравнительного анализа пищевой ценности контрольного и опытных образцов полуфабрикатов блинчиков тестовой оболочки, свидетельствует о значительном повышении пищевой ценности опытных экземпляров функциональными пищевыми веществами. При этом энергетическая ценность готовых изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья в образцах № 2, 3, 4 ниже энергетической ценности контроля на 19,5%, 22,3%, 22,2% соответственно. Это связано с использованием сырья, содержащим в своем составе небольшое количество белков, жиров и углеводов.

Необходимо отметить, что в опытном образце блинчиков с псиллиумом (10%) наблюдается значительное увеличение пищевых волокон, на 154%. Такое содержание растворимой и нерастворимой клетчатки в потребляемых изделиях благоприятно влияет на работу жизненно важных функций в организме человека.

Содержание йода в 100 граммах блинчиков опытного образца № 3 (10% порошка ламинарии) составило 98,55 мкг, а с учетом потерь при тепловой обработке (-65%) оно составило 35,5 мкг. Степень удовлетворения суточной потребности в йоде составила 23% при употреблении 100 гр. блинчиков.

В образце № 2 (10% порошка шиповника) содержится 56,96 мкг витамина А, что больше на 24,99 мкг контрольного образца. За счет высокого содержания витамина С в порошке шиповника, повышается его содержание в готовых изделиях в 23,7 раза (на 30,59 мг) в сравнении с контролем.

Таким образом, использование замены части муки

сырьем растительного происхождения, в дальнейшем повышает качество готовой продукции, а также расширяет ассортимент готовых мучных кулинарных изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гармаева И.Ю., Ефимова Н.В., Лемешевская Е.П., Богданова О.Г. Оценка питания взрослого населения на современном этапе. Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. С. 9.
2. Доценко В.А., Кононенко И.А., Мосийчук Л.В., Аргунова Е.В., Долотов С.А., Сироткин О.Г. Особенности употребления петербуржцами витаминов и продуктов, обогащенных биологически активными веществами. Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 5. С. 479-483.
3. Стукало О.Г., Текутьева Ю.А. Функциональные продукты питания как способ укрепления продовольственной безопасности региона. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79. № 4 (74). С. 350-357.
4. Смольянова А.П., Волошина М.О., Митюшкина Н.Е., Тихонова Е.А. К вопросу о биологически активных добавках природного происхождения в производстве хлеба. В сборнике: Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. 2019. С. 71-75.
5. Смольянова А.П., Блинохватова Ю.В. Применение вторичных сырьевых ресурсов в производстве хлебобулочных изделий. Инновационная техника и технология. 2018. № 4 (17). С. 25-28.
6. Белокурова Е.В., Маслова В.А. Прогнозирование и варьирование показателей качества мучных кулинарных изделий с внесением цельнозерновой пшеничной муки. Пищевая промышленность. 2017. № 6. С. 26-28.
7. Домбровская Я.П., Аралова С.И., Текутьева Ю.А., Денисова А.А. Перспективы применения нетрадиционного растительного сырья для повышения биологической ценности мучных кулинарных изделий. Пищевая промышленность. 2017. № 7. С. 19-21.
8. Смольянова А.П., Белякова К.Н., Павлова Д.А. Обзор использования нетрадиционного сырья при производстве

мучных кондитерских изделий. В сборнике: Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы Сборник статей X Международной научно-практической конференции. 2018. С. 80-83.

9. Ситдикова Г.З. Нетрадиционные виды растительного сырья в производстве мучных кулинарных изделий. В сборнике: Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. Материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2017». Башкирский государственный аграрный университет. 2017. С. 441-445.

10. Смольянова А.П., Волошина М.О., Селезнева Е.С., Шунина К.В. К вопросу об использовании нетрадиционного сырья в производстве макаронных изделий. В сборнике: Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. 2019. С. 75-79.

11. Borankulova A.S., Abdikaem U.D., Akhmet Z.S. Studies of the physico-chemical composition of the rosehip extract and sygur, obtained on the cottage cheese whey. Механика и технологии. 2019. № 3 (65). С. 45-50.

12. Кокаева Ф.Ф., Джатиева Д.Н. Изучение химического состава плодов шиповника (*rosa majalis*). Известия Горского государственного аграрного университета. 2018. Т. 55. № 1. С. 120-124.

13. Скрипникова Д.П., Лешуков К.А. Изучение влияния порошка плодов шиповника на химический состав и функционально-технологические свойства мясорастительных паштетов. International Scientific Review. 2016. № 7 (17). С. 27-30.

14. Минцевич А.С. Обоснование применения псиллиума в технологии безглютеновых мучных изделий из дрожжевого теста. Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки. 2020. № 14. С. 133-136.

15. Ковалевская Д.А., Евтухова О.М. Обогащение мучного кулинарного изделия енисейской кухни «шаньга с картофелем» псиллиумом В книге: Пищевые инновации и биотехнологии. Сборник тезисов VIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией А. Ю. Просекова. 2020. С. 172-173.

16. Контарева В.Ю., Крючкова В.В., Белик С.Н., Моргуль Е.В., Ишонина О.Г. Характеристики псиллиума как растительного ингредиента в технологии пищевых продуктов. В сборнике: Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения. Материалы Межрегиональной научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 90-летию ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России. Вол-гоград, 2020. С. 187-191.

17. Кароматов И.Дж., Ашурова Н.Г., Амонов К.У. Ламинария, морская капуста. Биология и интегративная медицина. 2017. № 2. С. 194-213.

18. Надточий Л.А., Корягина А.В., Гусева Е.П., Кирычева Е.В. Оценка функциональности йодсодержащего продукта на молочно-растительной основе. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2016. № 5-6 (353-354). С. 85-89.

19. Репнова М.И., Лихуша П.С. Влияние порошка морской капусты на качество батона из пшеничной муки. В сборнике: Научные приоритеты в АПК: инновации, проблемы, перспективы развития Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. 2019. С. 52-55.

20. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания / Под редакцией Ф. Л. Марчука; Составители: В. А. Ананина, С. Л. Ахиба, В. Т. Лапшина, Р. М. Мальгина, В. Л. Соколов, А. П. Рубан, З. И. Ясюченя. — М.: Хлебпроинформ, 1996. — 620 с.

21. ТР ТС 022/2011 Технический регламент Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки». Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. №881.

*Статья поступила в редакцию 28.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 641.1/.3

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0029

## СОЗДАНИЕ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ФЕНИЛКЕТОНУРИЕЙ

© 2021

**Грищенко Анна Васильевна**, магистрант

Высшей школы пищевых технологий и биотехнологий

**Быченкова Валерия Владимировна**, кандидат технических наук,

доцент Высшей школы пищевых технологий и биотехнологий

**Сафонова Эльвира Эмильевна**, кандидат педагогических наук,

доцент Высшей школы пищевых технологий и биотехнологий

**Иванченко Ольга Борисовна**, кандидат биологических наук,

доцент Высшей школы пищевых технологий и биотехнологий

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская 48-50,*

*e-mails: ania.grishenko@yandex.ru, lera\_bychenkova@mail.ru, elvira-safo@rambler.ru, obivanchenko@yandex.ru)*

**Аннотация.** В настоящее время остро стоит проблема питания людей с целиакией и фенилкетонурией. И если продукты питания для больных целиакией уже можно встретить в обычных магазинах и супермаркетах, то для людей с фенилкетонурией возможность найти продукт в широком доступе сводится к минимуму. Серьезные ограничения в питании пациентов с фенилкетонурией заключаются в невозможности потребления животного белка, так как его употребление ведет к повышению в крови больного человека фенилаланина и продуктов его распада из-за дефицита фермента фенилаланингидроксилазы. Выбор сырья для производства специализированной продукции достаточно сложен, ввиду различных ограничений данного заболевания. Из рациона следует исключить продукты богатые белком: мясо, птицу, рыбу и изделия из них, яйца, орехи, некоторые крупы и изделия из муки (овсяной, ржаной, пшеничной, гречневой), аспартам. С осторожностью применять молоко и молочные продукты, некоторые виды овощей (картофель, брокколи, брюссельскую капусту). Разрешены к употреблению фрукты и ягоды, овощи, зелень, сахар, растительные жиры и масла, крупы, муку (рисовую, кукурузную), крахмалы тапиоки, картофеля, кукурузы, саго. В статье приведен анализ ассортимента продукции для больных фенилкетонурией, основные принципы выбора сырья при производстве продукции для больных фенилкетонурией, принципы построения рецептуры продукта. Проведен анализ уровня фенилаланина различных видов муки и крахмала, содержание моно- и полиненасыщенных кислот. Разработана рецептура мучного кондитерского изделия для больных фенилкетонурией, выполнены исследования по содержанию влаги и щелочности разработанного продукта по сравнению с классической рецептурой изделия из пшеничной муки, рассчитаны показатели пищевой и энергетической ценности изделий, уровень фенилаланина в готовой продукции.

**Ключевые слова:** фенилкетонурия, изделия с пониженным содержанием фенилаланина, кондитерские изделия, рисовая мука, кукурузный крахмал.

## CREATION OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS FOR NUTRITION OF PATIENTS WITH PHENYLKETONURIA

© 2021

**Grishchenko Anna Vasilyevna**, master's student

Higher School of Food Technology and Biotechnology

**Bychenkova Valeria Vladimirovna**, candidate of technical sciences, associate

professor of the Higher School of Food Technologies and Biotechnologies

**Safonova Elvira Emilyevna**, candidate of pedagogical sciences, associate

professor of the Higher School of Food Technologies and Biotechnologies

**Ivanchenko Olga Borisovna**, candidate of biological sciences, associate

professor of the Higher School of Food Technologies and Biotechnologies

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

*(194021, Russia, St. Petesburg, Novorossiyskaya str., 48-50,*

*e-mails: ania.grishenko@yandex.ru, lera\_bychenkova@mail.ru, elvira-safo@rambler.ru, obivanchenko@yandex.ru)*

**Abstract.** Currently, the problem of nutrition of people with celiac and phenylketonuria is sharply. And if food products for patients with celiacs can already be found in ordinary stores and supermarkets, then for people with phenylketonuria, the opportunity to find a product widely access will be minimized. The serious restrictions in nutrition of patients with phenylketonuria are impossible to consume an animal protein, since its use leads to an increase in the patient's patient phenylalanine and its decay products due to the deficiency of phenylalaninhydroxylase enzyme. The choice of raw materials for the production of specialized products is quite complicated, due to the various restrictions of this disease. From the diet should exclude products rich in protein: meat, bird, fish and products of them, eggs, nuts, some cereals and products from flour (oatmeal, rye, wheat, buckwheat), aspartame. With caution apply milk and dairy

products, some types of vegetables (potatoes, broccoli, Brussels cabbage). Fruits and berries, vegetables, greens, sugar, vegetable fats and oils, cereals, flour (rice, corn), starch tapioki, potatoes, corn, sago are allowed. The article presents an analysis of the range of products for patients with phenylketonuria, the basic principles of the choice of raw materials in the production of products for patients with phenylketonuria, the principles of building a recipe product. An analysis of the level of phenylalanine of various types of flour and starch, the content of mono- and polyunsaturated acids was carried out. A recipe for a flour confectionery product for patients with phenylketonuria was developed, studies were made on the content of moisture and alkalinity of the developed product compared to the classical recipe product from wheat flour, indicators of the food and energy value of products, the level of phenylalanine in finished products are calculated.

**Keywords:** phenylketonuria, products with reduced phenylalanine, confectionery, rice flour, corn starch.

**Введение.** Серьезные ограничения в питании пациентов с фенилкетонурией заключаются в невозможности потребления животного белка, так как его употребление ведет к повышению в крови больного человека фенилаланина и продуктов его распада из-за дефицита фермента фенилаланингидроксилазы [1]. Избыток фенилаланина в крови для таких пациентов может привести к поражению центральной нервной системы вплоть до умственной отсталости [2]. Однако, при своевременном выявлении данного заболевания (при неонатальном скрининге) и последующем лечении, жалобы носят более легкий характер или отсутствуют.

Частота фенилкетонурии колеблется в зависимости от популяции, региона. Наиболее распространена фенилкетонурия у лиц европеоидной расы. По данным неонатального скрининга установлено, что «в России частота составляет 1:7000 новорожденных, в Санкт-Петербурге и Москве 1:7600 и 1:6772 соответственно» [3].

В федеральных клинических рекомендациях [3] авторами доказано, что «основной метод лечения – диетотерапия, основанная на резком ограничении фенилаланина в рационе больных детей за счет исключения высокобелковых продуктов». Людям с фенилкетонурией необходимо пожизненно соблюдать низкобелковую диету. [3].

На российском рынке специализированное питание для людей с фенилкетонурией представлена марками: *Balviten* (Польша), *Мак Масмер* (Россия), *Sanavi* (Италия), *Mevalia* (Германия), *Nutricia* (Нидерланды), "ГНУ ВНИИ Крахмалопродуктов" (Россия). Большинство изделий, которые представлены на нашем рынке, производятся в странах Европейского Союза, вследствие чего имеют высокую стоимость.

**Целью** исследования являлось создание низкобелковой продукции, с пониженным содержанием фенилаланина.

**Материалы и результаты исследования.** Объектами исследований являлись 3 образца рецептуры кексов для больных фенилкетонурией с разным содержанием муки рисовой и кукурузного крахмала, а также контрольный образец с применением яиц и пшеничной муки.

В таблице 1 представлено содержание муки крахмала в процентном соотношении к основной массе полуфабриката.

Таблица 1 – Содержание муки и крахмала в исследуемых образцах

	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Контрольный образец
Рисовая мука, %	28	21	14	-
Кукурузный крахмал, %	-	7	14	-
Пшеничная мука, %	-	-	-	24

В процессе работы были проведены исследования физико-химических показателей. Таких как: содержание влаги - методом высушивания (ГОСТ 5900-2014) [4], и щелочность – методом титрования по (ГОСТ 5898-87) [5], а также проведена их математическая обработка. Органолептический анализ проводился согласно требованиям ГОСТ 5897-90 [6]. Показатели содержания витаминов и минеральных веществ, энергетическая ценность – расчетными методами. Содержание фенилаланина с помощью программы «диета ФКУ» [7], разработанной при участии врача генетика Латыпова Артура Шамилевича.

Первым этапом работы был анализ ассортимента продукции среди наиболее крупных интернет-магазинов специализированного питания для пациентов с фенилкетонурией: «*Лиона*», «*Мир Вкусов*», «*Здоровье на дом*», «*Азбука здоровья*». Продукция для анализа отбиралась с маркировкой «низкобелковый продукт» или пометкой «фенилкетонурия», «ФКУ», а также содержанием белка менее 2 граммов на 100 граммов готовой продукции. Данный анализ показал, что наибольшее количество продукции приходится на макаронные изделия, печенье, сухие смеси для выпечки, хлеб и концентраты супов. Кондитерские изделия такие как, кексы, конфеты, шоколад, вафли представлены в значительно меньшем количестве. Результаты анализа представлены на рисунке 1.

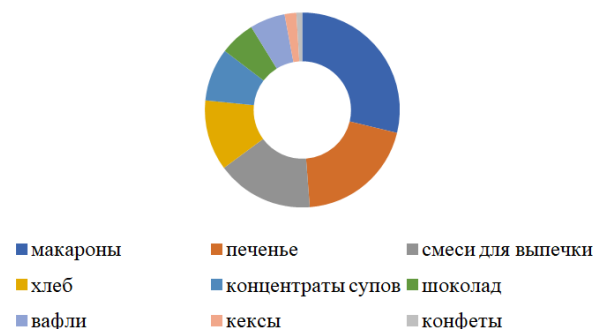


Рисунок 1 – Анализ рынка продукции для больных фенилкетонурией

По результатам анализа было выбрано направление для создания новых видов продукции – кондитерские изделия, кексы.

При выборе сырья для больных фенилкетонурией особое внимание уделено содержанию в нем фенилаланина [8]. Был проведен сравнительный анализ аминокислотного состава муки кукурузной, рисовой, крахмала картофельного и кукурузного. Данные виды сырья рассматриваются в качестве основных, так как разрешены к употреблению больным с фенилкетонурией [3, 9]. В таблице 2 представлено количество фенилаланина в 100 граммах различных видов муки и крахмала [10].

Таблица 2 – Содержание фенилаланина в муке и крахмале

Название	Мука рисовая	Мука кукурузная	Крахмал картофельный	Крахмал кукурузный
	г	г	г	г
Фенилаланин	0,317	0,340	0,316	0,013

По итогам анализа было принято решение использовать рисовую муку и кукурузный крахмал. Опытным путем было установлено что без существенного ухудшения технологических свойств можно использовать кукурузный крахмал в соотношении от 1-50% от рисовой муки, в зависимости от использованной рецептуры.

При разработке специализированной продукции особое внимание уделено специфичности сырья. В разрешенных к употреблению видах муки отсутствует глютен. Возникающее ухудшение технологических свойств теста компенсировали включением в рецептуру структурообразователей [11,12,13].

Таблица 3 – Содержание моно- и полиненасыщенных кислот в 100 граммах растительных масел

Наименование	Полиненасыщенные жирные кислоты, граммы	Мононенасыщенные жирные кислоты, граммы	Насыщенные жирные кислоты, граммы
Рапсовое масло	28,14	63,28	7,37
Оливковое масло	10,52	72,96	13,81
Пальмовое масло	9,30	37,00	49,30
Подсолнечное масло	3,80	83,69	9,86
Кокосовое масло	1,70	6,33	82,48

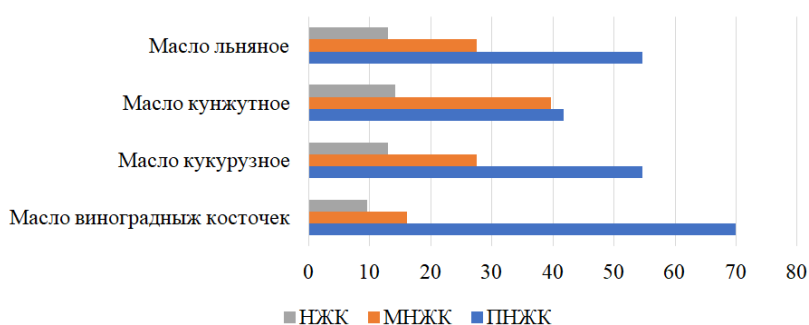


Рисунок 2 – Анализ уровня жирных кислот

По результатам работы можно сделать вывод, что лидером среди образцов по содержанию полиненасыщенных жирных кислот является масло виноградных косточек, оно было выбрано для использования в рецептуре.

Анализируя содержание витаминов и минеральных веществ в муке рисовой, а также крахмале, важно отметить, что они не обладают высокой биологиче-

ской ценностью [15]. Для увеличения количества витаминов и минеральных веществ было использовано банановое пюре и апельсиновый сок.

В качестве природных структурообразователей в разрабатываемой рецептуре было использовано пюре банана 23,4% от общей массы. А также добавки E450 и E500 в количестве, не превышающем 1% от массы полуфабриката.

Проведя изучение состава мучных кондитерских изделий для больных фенилкетонурией, представленных на территории России, было выделено несколько наиболее часто используемых масел: пальмовое, подсолнечное, рапсовое, оливковое масла. Также можно выделить фирму SANAVI, единственную на рынке использующую кокосовое масло.

Проведя анализ данных по составу масел, можно сделать вывод что лучшими из рассматриваемых масел по содержанию моно- и полиненасыщенных кислот являются: рапсовое и оливковое, подсолнечное масло отстает по показателю полиненасыщенных жирных кислот, несмотря на уровень мононенасыщенных жиров и более низкую стоимость. Результат анализа справочных данных представлен в таблице 3 [10, 14].

Кокосовое и пальмовое масла ввиду своего строения имеют высокий уровень насыщенных жирных кислот, так как на данный момент у врачей нет единого мнения о явной пользе или вреде данных кислот, использовать их следует с осторожностью.

Перспективными маслами для производства продукции с пониженным содержанием белка также являются: кукурузное, кунжутное, льняное и виноградных косточек масла. В ходе работы были проанализированы данные по уровню жирных кислот, результат представлен на рисунке 2 [10, 14].

Перспективными маслами для производства продукции с пониженным содержанием белка также являются: кукурузное, кунжутное, льняное и виноградных косточек масла. В ходе работы были проанализированы данные по уровню жирных кислот, результат представлен на рисунке 2 [10, 14].

Таблица 4 – Уровень витаминов и минеральных веществ в исследуемых образцах

Наименование	Необогащенный образец	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Витамины, мг				
Витамин Е	16,6	16,8	16,75	16,7
Витамин К	-	0,8	0,8	0,8
В1	0,2	0,3	0,25	0,2
В2	0	0,6	0,6	0,6
В3	3,9	4,2	3,225	2,25
В4	9,1	16,9	14,725	12,55
Витамин С	-	75	75	75
Минеральные вещества, мг				
Кальций	17	30,8	27,05	23,3
Железо	1	1,7	1,575	1,45
Магний	55,5	107,1	93,975	80,85
Фосфор	160	180,3	144,55	107,8
Калий	117	868,2	839,7	811,2
Натрий	10,2	12,9	12,6	12,3

Анализируя расчетные данные можно сделать вывод о положительном влиянии внесенных в рецептуру фруктовых добавках.

В ходе работы были рассчитаны энергетические показатели в 100 граммах готовой продукции [16] и сравнены с контрольным образцом, результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Энергетическая ценность исследуемых образцов

	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г
Контрольный образец	7,5	9,8	61,4
Образец 1	3,0	9,0	52,0
Образец 2	1,9	7,2	43,0
Образец 3	1,4	7,2	43,0

За счет применения апельсинового сока и бананового пюре удалось снизить количество добавляемого в рецептуру сахара, уменьшив тем самым количество

углеводов в изделиях, что в свою очередь повлияло на энергетическую ценность – снизилась калорийность с 363,8 до 242,4 килокалорий в 100 граммах готовой продукции.

Данные представлены на рисунке 3.

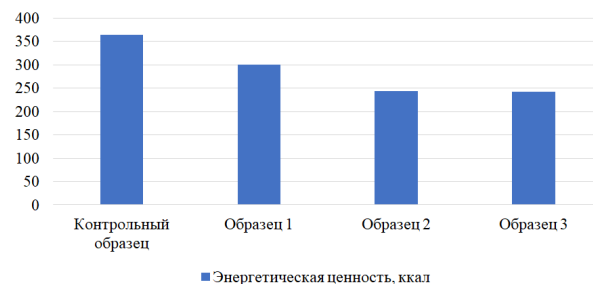


Рисунок 3 – Энергетическая ценность

В ходе работы был проведен органолептический анализ образцов [6, 17] - кексов с разным содержанием рисовой муки и крахмала, в сравнении с контрольным образцом, содержащем яйца, пшеничную муку и растительный жир. По итогам обработки протоколов был составлен органолептический профиль, представленный на рисунке 4.

Главным критерием в процессе разработки изделий был максимально низкий уровень фенилаланина, при хороших органолептических показателях. Данным требованиям отвечает образец №3. Благодаря модернизации рецептуры удалось снизить уровень фенилаланина с 434 до 56,5 миллиграммов на 100 граммов готовой продукции [7, 16]. Данные по изменению уровню фенилаланина в образцах представлены на рисунке 5.

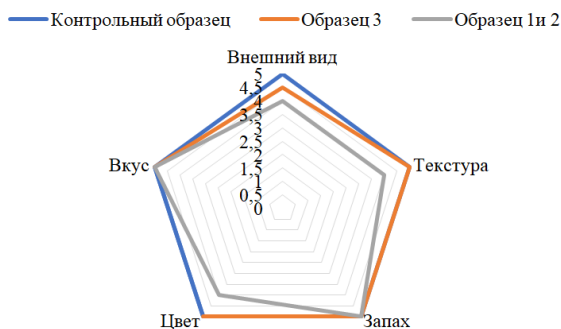


Рисунок 4 – Органолептический профиль

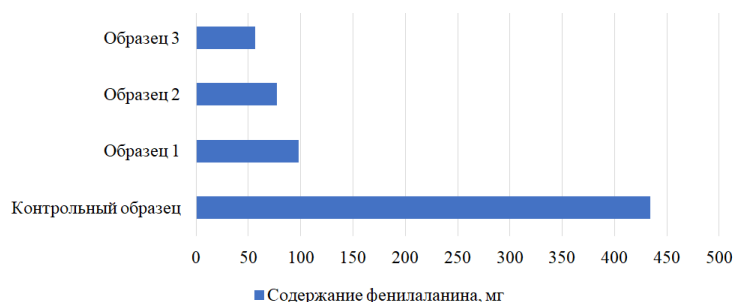


Рисунок 5 – Содержание фенилаланина в исследуемых образцах

Проанализировав полученные данные, была выбрана итоговая рецептура кондитерского изделия (кекса) для больных фенилкетонурией – образец №3.

Данный образец показал хорошие органолептические показатели, низкое содержание фенилаланина и углеводов. Рецептура в процентном соотношении к основ-



ной массе полуфабриката представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Рецептура кекса для больных фенилкетонурией

Сырье	Соотношение ингредиентов, %
Мука рисовая	14,0
Крахмал кукурузный	14,0
Сахар	17,4
Сок апельсиновый	22,8
Банановое пюре	23,4
Масло виноградной косточки	7,2
Разрыхлитель	1,2

При проектировании нового кондитерского изделия (кекса) учитывались принципы системы безопасности пищевой продукции НАССР. При разработке и внедрении новой рецептуры и технологии учитывались химические, биологические и физические риски, связанные с питанием [18,19].

В процессе работы были проведены исследования физико-химических показателей. Результаты испытаний представлены в таблице 7 [4, 5].

Таблица 7 – Результаты физико-химических показателей кексов

Физико-химические показатели	Значения	
	Контрольный образец	Кекс для больных фенилкетонурией
Содержание влаги, %	21,99±0,70	21,98±0,84
Щелочность, градусы	0,316±0,04	0,310±0,03

Образцы новой рецептуры были сравнены с контрольным образцом, кексом с применением растительного жира, пшеничной муки и яиц. По итогам эксперимента можно сделать вывод что у всех исследуемых образцов показатели в пределах нормы. А новый разработанный образец изделия не имеет сильных отличий от классического.

**Заключение.** Таким образом в процессе производства продукции с пониженным содержанием фенилаланина следует особое внимание уделять выбору сырья. Разработанная рецептура мучных кондитерских изделий отвечает требованиям к питанию пациентов с фенилкетонурией. Анализ физико-химических показателей новой разработанной рецептуры (кекса) показал, что данная рецептура не уступает классическим изделиям и не превышает показатели пищевой безопасности. По итогам органолептической оценки готовый продукт получил хорошие результаты и может быть рекомендован к употреблению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Боровик Т.Э., Ладодо К.С., Бушуева Т.В. и др. Диетотерапия при классической фенилкетонурии: критерии выбора специализированных продуктов без фенилаланина. Вопросы современной педиатрии. 2013;12(5):40–48.
2. Бушуева Т.В. Современный взгляд на проблему фенилкетонурии у детей: диагностика, клиника, лечение. Вопросы современной педиатрии. 2010;9(11):57–162.
3. Клинические рекомендации по диагностике и лечению фенилкетонурии и нарушений обмена тетрагидробиоптерина министерства здравоохранения Российской Федерации / составители Купев С.И. [и др.] – «Академиздат», Москва, 2014. 70 с.
4. ГОСТ 5900-2014. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ.

5. ГОСТ 5898-87 Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности.
6. ГОСТ 15052-96 Кексы. Общие технические условия.
7. Диета ФКУ / [Электронный ресурс] // URL: <http://pku.asteis.net/index.php> (дата обращения: 27.05.2020 г.)
8. Баранов А.А., Боровик Т.Э., Ладодо К.С., Бушуева Т.В., Маслова О.И., Кузенкова Л.М., Студеникин В.М., Звонкова Н.Г. и др. Специализированные продукты лечебного питания для детей с фенилкетонурией. Методическое письмо. 3-е издание. Москва; 2012. 84 с.
9. Бородин М. В., Болдина А. А., Сокол Н. В. Разработка рецептуры и технологии безглютенового печенья на основе рисовой муки // Молодой ученый. — 2016. — №1. — С. 128-131.
10. U.S. department of agriculture (USDA) / [Электронный ресурс] //URL: <https://www.usda.gov/> (дата обращения: 27.05.2020 г.)
11. Цыганова Т. Б. Шнейдер Д. В., Костылева Е. В. Формирование рецептур для производства безбелковых и безглютеновых продуктов // Хлебопродукты. – 2011. – № 12. – С. 44-46.
12. Шнейдер Д. В. Новая программа формирования рецептур безглютеновых продуктов // Хлебопродукты. – 2012. – № 8. – С. 50-52.
13. Способы приготовления безглютенового мучного кондитерского изделия на основе крахмалсодержащего теста / Красильников В.Н., Леонтьева Н.А., Барсукова Н.В., Кузнецова Л.И., Синявская Н.Д // Протеин 2007. –Т. 7, No 7. –С. 4–5.
14. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. В. А. Тутельяна. -Х46 М.: ДеЛи принт, 2002. - 236 с.
15. Специализированные продукты лечебного питания для детей с фенилкетонурией. (Методическое письмо). 3-е изд., перераб. и допол. — М.; 2012. — 85 с.
16. Олейникова А. Я., Магомедов Г. О., Плотнокова И. В. Технологические расчеты при производстве кондитерских изделий. Учеб. пособие. – М: издательство РАПП, 2008. – 240 с.
17. ГОСТ 5897-90. Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей.
18. Chernova E., Bychenkova V., Kotova N., Pupykin K. Automation of processes of temperature modes control in security system based on haccp principles: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012108.
19. Быченкова В.В., Чернова Е.В. Система НАССР, как новый инструмент обеспечения безопасности продукции общественного питания// Качество и безопасность продукции: проблемы и пути решения. Материалы II Научной школы-семинара для молодых ученых. 2015. С.128-132

Статья поступила в редакцию 15.04.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 664.785.8

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0030

**ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА КУКУРУЗНОЙ И ОВСЯНОЙ КРУПЫ**

© 2021

**Кадырберлиева Разия Маликовна**, магистрант высшей школы

технологии пищевых и перерабатывающих производств

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана**(090009, Казахстан, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51, raziya180796@mail.ru)*

**Аннотация.** В статье рассматривается ценность кукурузной и овсяной крупы, важность аминокислот в их составе. Проведены исследования протеиногенных аминокислот круп методом капиллярного электрофореза. Важным является диагностическое исследование, направленное на повышение ценности круп, рассмотрение значимости содержащихся в ней аминокислот. Крупы являются источником ряда витаминов (особенно витаминов группы В), многих минеральных элементов, белков и незаменимых аминокислот, а также углеводов. Основной отличительной особенностью овсяных и кукурузных культур является высокая пищевая ценность белков, сбалансированных по аминокислотному составу. Важность аминокислот в организме определяется большой ролью белков во всех жизненных процессах. Они благотворно влияют на обмен веществ, улучшают его и ускоряют. Проведены исследования протеиногенных аминокислот данных культур методом капиллярного электрофореза. В ходе исследования с помощью капиллярного электрофореза была определена массовая доля протеиногенных аминокислот в форме фенилизотиокарбамильной производной (ФТК-производная). Применение овсяной и кукурузной крупы в рационе питания оптимально для обогащения пищевых продуктов ценными компонентами – белками, незаменимыми аминокислотами и минеральными веществами.

**Ключевые слова:** кукурузная крупа, овсяная крупа, белок, аминокислоты, метод капиллярного электрофореза, электрический ток, адсорбция, абсолютное градиентирование, электрофореграмма.

**RESEARCH OF AMINO ACID COMPOSITION OF CORN AND OATMEAL**

© 2021

**Kadyrberliyeva Raziya Malikovna**, master's student of the Higher School of Food and Processing Technology*Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-technical university**(090009, Kazakhstan, Uralsk city, Zhangir Khan Street, 51, email: raziya180796@mail.ru)*

**Abstract.** The article discusses the value of corn and oatmeal, the importance of amino acids in their composition. Studies of proteinogenic amino acids of cereals by capillary electrophoresis were carried out. An important diagnostic study is aimed at increasing the value of cereals, considering the importance of the amino acids contained in it. Cereals are a source of a number of vitamins (especially B vitamins), many mineral elements, proteins and essential amino acids, as well as carbohydrates. The main distinguishing feature of oatmeal and corn crops is the high nutritional value of proteins balanced in amino acid composition. The importance of amino acids in the body is determined by the large role of proteins in all life processes. They have a beneficial effect on the metabolism, improve it and accelerate it. The proteinogenic amino acids of these cultures were studied by capillary electrophoresis. In the course of the study, the mass fraction of proteinogenic amino acids in the form of a phenylisothiocarbamyl derivative (PTC-derivative) was determined using capillary electrophoresis. The use of oatmeal and corn groats in the diet is optimal for enriching food with valuable components – proteins, essential amino acids and minerals.

**Keywords:** corn groats, oatmeal, protein, amino acids, capillary electrophoresis method, electric current, adsorption, absolute gradient, electrophoregram.

**Введение.** Организм человека нуждается в витаминах и веществах, которые повышают иммунитет к воздействию окружающей среды и различным инфекциям. Это свидетельствует о необходимости расширения системы безопасного питания и пищевого рациона. В связи с такими состояниями рекомендуется использовать продукты, производимые из кукурузного зерна, которые улучшают иммунную систему человека. Кукуруза является крайне важным продуктом потребления, уступающая первенство по продажам разве что пшенице [1].

Ряд текущих исследований выделяют так же и лечебные свойства «царицы полей». Нередки случаи того, что после внесения кукурузных рылец в повседневный рацион, у людей увеличивались секреции желчи, при этом её общая плотность и вязкость со

временем становилась меньше. А при их употреблении на более длительной дистанции, нередко фиксировалось растворение желчных камней, но не только этим кукуруза может быть полезна для здоровья [2].

По мнению диетологов, овес является одним из самых полезных зерен для нашего здоровья. Он регулирует жировой обмен, очищает от шлаков, а так же способствует понижению уровня сахара в крови. Отличным продуктом для улучшения обмена веществ, а так же для выведения из организма человека вредных веществ выступает овес. Он способствует укреплению сердечно – сосудистой системы, помогает привести в норму ритм сердца, а так же положительным образом воздействует как на физическое здоровье, так и на нервную систему [3, 4].

Данные крупы имеют высокую пищевую цен-

ность. Низкий уровень калорийности кукурузы способствует её применению в ряде диет. Белок зёрен кукурузы и овса содержит почти все незаменимые для организма аминокислоты.

Ключевой важностью для нашего организма выступают аминокислоты, за счет огромной роли белки во всех возможных жизненных процессах. От невидимых для глаз микробов до животных невообразимых размеров все живые существа полностью состоят из белков, а их различные формы принимают непосредственное участия во всех процессах жизнедеятельности [5].

Недостаток белка в любом организме, безусловно, приведет к нарушению водного баланса и дальнейшему отеку. Белки уникальны по-своему и выполняют ряд предписанных для них функций, а потому – не могут быть взаимозаменяемыми. Белки синтезируются в живом организме из аминокислот, которые организм получает, разрушая белки, которые, в свою очередь, получают от поглощения пищи. Поэтому аминокислоты действуют как более ценный питательный элемент, а не сами белки [6].

Мир науки об аминокислотах стал в период-начале XIX века. Первая комбинация этой серии “глицин” была обнаружена с помощью ученого А. Браконна. Исследователь обнаружил это вещество в желатине в 1820 году. Известные до настоящего времени аминокислоты были исследованы в 1925 г. учеными С. Шрайором и др.

В природе известно более 150 различных аминокислот. Они могут быть в свободной форме или в виде коротких пептидов и комплексов с другими органическими веществами. Из них 20 видов входят в состав белков человека и животных. В процессе биосинтеза белка к полипептидной цепи присоединяются 20-аминокислоты, закодированные генетическим кодом, которые называются протеиногенными. 8 из 20 аминокислот относящихся к типу протеиногенных (валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин) именуемые незаменимыми, потому что наш организм не в силах самостоятельно синтезировать их из большего числа других соединений в тех количествах которые необходимы, которые получаются за счет поглощения пищи.

В нашем организме процесс синтеза белков происходит непрерывно, однако, данный процесс будет приостановлен, если нехватает хотя бы одной незаменимой аминокислоты. Это может способствовать развитию ряда проблем, начиная от нарушения пищеварения, заканчивая депрессивным состоянием и замедлением роста [7-8].

Организм человека состоит 20% из белка. Аминокислоты имеют большое значение для нормальной жизни человеческого организма. Они благотворно влияют на обмен веществ, улучшают его и ускоряют, так же принимают непосредственное участие в выработке гормонов, ведут борьбу со свободными радикалами, мешают формированию и дальнейшего роста клеток рака и способствуют нормализации работы большего числа органов. Компоненты белков замед-

ляют процесс старения и продлевают жизнь. Каждый протеиновый кирпич обладает полезными для здоровья человека свойствами: аргинин – участвует в образовании оксида азота, способствует расширению кровеносных сосудов, а так же способствует снижению холестерина в крови, аланин – дает мышечную энергию, участвует в метаболизме углеводов, активизирует иммунную систему, пролин – делает кожу плотной, без него этот процесс невозможен [9].

В связи с вышеизложенным важным является молекулярно-диагностическое исследование круп. Молекулярная диагностика играет большую роль в научном мире. ДНК, РНК, обнаружение и очистка белков является важным этапом в диагностических процедурах.

**Целью** исследовательской работы является выявление массовой доли аминокислот с помощью методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель» по ГОСТ Р 55569-2013 .

Основным методом выделения биомолекул является электрофорез, движения заряженных частиц в растворе под действием электрического поля, а капиллярный электрофорез относительно новый, быстро развивающийся метод деления сложных смесей, дающий возможность проводить анализ ионных и нейтральных компонентов разнообразной природы с уникальной эффективностью.

В методе капиллярного электрофореза исследуемый образец заливают в гель, обладающий свойством проводимости. Для разъединения соединений через проводящий гель пропускается электрическое поле с определенной силы или электрический ток при определенном напряжении. Чем больше объем белка, тем больше количество адсорбируемых анионов. В результате адсорбции аниона все белки исследуемого образца приобретают отрицательный заряд. Поскольку форма и показатель заряженности всех белков исследуемого образца примерно одинаковы, основным показателем, учитываемым при выделении белков, является их объем: мелкие белки движутся быстрее, чем крупные. Этот метод позволяет усилить расщепление и распределение белков [10].

**Материалы и результаты исследования.** Для процесса капиллярного электрофореза необходим ряд специализированного оборудования. Главными составляющими данной системы выступают – флакон для нанесения образца, стартовый флакон, конечный флакон, капилляр, электроды, мощный источник питания, детектор и устройство обработки данных. Флакон для нанесения образца, например, водным буферным раствором. Для нанесения образца конец капилляра опускают во флакон с образцом и затем перемещают в стартовый флакон. Перемещение анализируемых веществ осуществляется под действием электрического поля. Все ионы передвигаются по капилляру в одном направлении под действием электроосмотического тока [11-12].

Суть данного метода состоит в разложении пробы для анализа кислотным гидролизом с переводом ами-

нокислот в свободные формы, получении ФТК-производных аминокислот, дальнейшем их разделении и количественном определении методом капиллярного электрофореза [13].

Методом капиллярного электрофореза по ГОСТ Р 55569-2013 определены протеиногенные аминокислоты, метод расчета – абсолютная градуировка (рис. 1, 2). Далее по стандартным методам определяли физико-химические показатели кукурузной и овсяной крупы (табл. 1).

Исследуемые крупы содержат большое количество белка и жиров, являются биологически ценными продуктами. Энергетическая ценность колеблется от 11 до 23 кДж.

В составе овсяной и кукурузной крупы было обнаружено 13 аминокислот (табл. 2, 3). Из них наибольшим выходом обладают в кукурузной крупе: аргинин –  $0,67 \pm 0,27\%$ ; пролин –  $0,65 \pm 0,17$ ; лейцин+изолейцин –  $0,58 \pm 0,15$ ; аланин –  $0,57 \pm 0,15$ ; треонин –  $0,53 \pm 0,10$ ; гистидин –  $0,51 \pm 0,04$ ; валин –  $0,37 \pm 0,15$ . Так же в овсяной крупе: аргинин –  $1,03 \pm 0,41$ ; гистидин –  $0,6 \pm 0,03$ ; фенилаланин –  $0,44 \pm 0,13$ ; пролин –  $0,41 \pm 0,1$ ; лейцин+изолейцин –  $0,39 \pm 0,10$ . О массовой доле аминокислот круп свидетельствует электрофореграмма, в которой изображен выход и диапазон продукции. Фактические данные показывают, что 7 из 9 аминокислот аргинин, лейцин, изолейцин, треонин, гистидин, фенилаланин, валин являются незаменимыми.

Таблица 1 – Проведение измерений исследуемых образцов

Наименование параметра	Значение параметра
Температура анализа	30,0°C
Длина волны	254 нм
Напряжение	25 кВт
Давление	0 мбар
Время анализа	16 мин

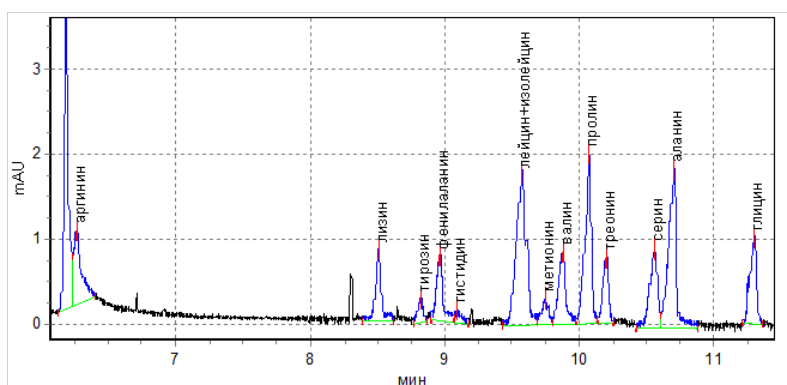


Рисунок 1 – Электрофореграмма градуировочной смеси аминокислот кукурузной крупы

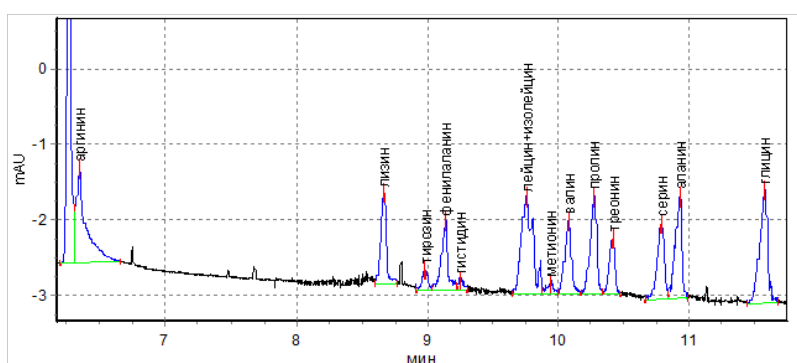


Рисунок 2 – Электрофореграмма градуировочной смеси аминокислот овсяной крупы

Таблица 2 – Содержание аминокислот кукурузной крупы в диапазонах измерений

№	Время	Компонент	Высота	Начало	Конец	Площадь	Конц., мг/л	Масс. доля аминокисл. %
1	6.178	-	3.597	6.118	6.228	81.9	0.00	0
2	6.257	аргинин	0.872	6.228	6.393	35.68	40.0	$0,67 \pm 0,27$
3	8.508	лизин	0.854	8.387	8.617	28.32	14.0	$0,26 \pm 0,08$
4	8.822	тирозин	0.279	8.768	8.865	8.608	8.90	$0,31 \pm 0,05$
5	8.965	фенилаланин	0.781	8.893	9.070	27.19	26.0	$0,43 \pm 0,13$
6	9.090	гистидин	0.158	9.070	9.175	5.199	4.90	$0,51 \pm 0,04$
7	9.575	лейцин+изолейцин	1.772	9.433	9.690	94.63	35.0	$0,58 \pm 0,15$
8	9.748	метионин	0.320	9.690	9.802	11.08	9.20	$0,29 \pm 0,05$
9	9.877	валин	0.854	9.802	9.975	32.5	22.0	$0,37 \pm 0,15$
10	10.075	пролин	2.001	9.975	10.133	63.34	39.0	$0,65 \pm 0,17$
11	10.202	треонин	0.764	10.133	10.258	23.94	15.0	$0,53 \pm 0,10$
12	10.563	серин	0.924	10.425	10.613	39.36	21.0	$0,35 \pm 0,09$
13	10.708	аланин	1.872	10.613	10.883	79.5	34.0	$0,57 \pm 0,15$
14	11.307	глицин	1.020	11.213	11.367	37.84	13.0	$0,25 \pm 0,07$



Таблица 3 – Содержание аминокислот овсяной крупы в диапазонах измерений

№	Время	Компонент	Высота	Начало	Конец	Площадь	Конц., мг/л	Масс. доля аминокисл. %
1	6.265	-	3.878	6.200	6.315	89.59	0.00	0
2	6.345	аргинин	1.245	6.315	6.658	64.17	73.0	1,03±0,41
3	8.668	лизин	1.182	8.608	8.775	33.22	16.0	0,26±0,08
4	8.985	тирозин	0.269	8.917	9.037	9.037	8.40	0,25±0,04
5	9.138	фенилаланин	0.899	9.037	9.228	32.76	31.0	0,44±0,13
6	9.252	гистидин	0.122	9.228	9.307	4.461	4.20	0,6±0,03
7	9.757	лейцин+изолейцин	1.274	9.650	9.872	77.65	28.0	0,39±0,10
8	9.943	метионин	0.144	9.872	9.992	6.477	5.40	0,25±0,03
9	10.080	валин	0.964	9.992	10.175	35.38	23.0	0,32±0,13
10	10.277	пролин	1.285	10.175	10.345	46.66	29.0	0,41±0,11
11	10.415	треонин	0.730	10.345	10.473	22.76	15.0	0,21±0,08
12	10.787	серин	0.993	10.660	10.843	38.23	20.0	0,28±0,07
13	10.927	аланин	1.335	10.843	10.987	49.99	21.0	0,30±0,08
14	11.577	глицин	1.479	11.443	11.675	63.69	22.0	0,31±0,11

**Заключение.** По проведенным исследованиям определен сбалансированный аминокислотный состав, предопределяющий высокую биологическую ценность продукта, что следует из результатов определения аминокислотного состава. В таблицах 2, 3 приведено содержание аминокислот кукурузной и овсяной крупы, а на рисунках 1, 2 – электрофореграмма. Содержание аминокислотного состава был определен на приборе М-04-38-2009 в научно-исследовательском институте «Пищевая безопасность» при Алматинском технологическом университете. Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что кукурузные и овсяные крупы хорошо сбалансированы по аминокислотному составу и являются биологически ценными продуктами.

Одним из важнейших веществ для поддержания функций организма выступает валин, отвечающий за работоспособность мышц и стабильность нервной системы. Основной его задачей является защита мышц от травм и поддержания тканей необходимым уровнем глюкозы, которая необходима для получения энергии в периоды высокой физической активности. Вместе с изолейцином и лейцином валин отвечает за нормальный рост, восстановлению тканей, следит за уровнем сахара, и обеспечивает организм необходимой энергией [14].

Так, мы понимаем, что нехватка в организме данных веществ будет напрямую сказываться на качестве оболочки нервных клеток, и может привести к развитию многих дегенеративных неврологических заболеваний. Отсутствие необходимого количества аминокислот может перетечь в болезнь лейциноз (она может развиваться у людей, чей организм не может самостоятельно усваиваться лейцин, изолейцин и валин). У больных данной болезнью моча начинает иметь специфичный запах кленового сиропа [15-16].

Нехватка в организме любой из необходимых аминокислот влечет за собой ряд негативных последствий, которые напрямую сказываются на здоровье человека. Выпадение волос, потеря веса, лейкопения или гипохромия, остановка роста – все это говорит о дефиците аминокислот в организме. Так же, наблюдались случаи проблем с памятью, повреждения слизистых оболочек, депрессия, бессонница, атрофия мышц и ослабление иммунитета. В свою очередь кукуруза и овсянка имеют достаточное количество не-

заменимых протеиногенных аминокислот, которые полностью соответствуют всем требованиям ГОСТ [17-18].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Каминский В. Вклад в развитие науки о крупе / В. Каминский // Хлебопродукты, 2004. - №9. - С. 15.
2. Растительный белок / пер. с фр. В.Г. Долгополова, под ред. Т. П. Миколович. – М.: Агропромиздат, 2002. – 684с.
3. Павлов, А.Н. Накопление белка в зерне пшеницы и кукурузы / А.Н. Павлов. - М.: Наука, 2007. - С. 339.
4. Ермекабаев С. Б., Алтаевич С., Мустахимова Ф. Ж.. Нестрадиционная овсяная мука. Воронеж: отдел полиграфии ФГБОУ ВО "ВГУИТ", 2016 ISBN 978-5-00032-225-3.
5. А. Изтаев, К.Б. Байболов, А.Б. Мынбаева Технология круп и крупяных концентратов: учебник.- Алматы, 2014.-С. 255
6. Дроздова, Т. М. Физиология питания : учеб. для вузов /Т. М. Дроздова, П. Е. Влошинский, В. М. Позняковский. - Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. - 352 с. - ISBN 5-94087-693-5.
7. Служинская З.А. Функции белков в организме / Служинская З.А., Калынюк П.П. - Львов, 2002. - С. 278.
8. Наумов С.П. Белки и их свойства / Наумов С.П. - М.: Академический проект, 2005. - 298с.
9. Робертис Э. Строение и свойства белков / Робертис Э., Новинский В., Саза Ф. - М.: Мир, 2003. - 305с.
10. Духин, С.С. Электрофорез / С.С. Духин, Б.В. Дерягин. - М.: Наука, 1976. – 328 с.
11. Хомов Ю.А., Фомин А.Н. Капиллярный электрофорез как высокоэффективный аналитический метод // Современные проблемы науки и образования. – 2012 – С. 158.
12. Дюрни, Брэндон с., и др. « Капиллярный электрофорез, применяемый к ДНК: определение и применение последовательности и структуры для развития биоанализа (2009-2014).» 2015- С. 345
13. Виталий Мухин., Высокоэффективный капиллярный электрофорез.- Санкт-Петербург, Наука, 2009. - С. 320
14. А. Г. Одиноев, В. Г. Сбужнева, В. И. Михайлов. Идеальное питание. – М.: «Квадрига». -2009. – С. 656
15. Комов В.П.: Биохимия. – М.: Дрофа, 2008
16. Огнев С.И. Аминокислоты, пептиды и белки / Огнев С.И. – М.: Высшая школа, 2005. – 365 с.
17. Гринштейн, Дж. Химия аминокислот и пептидов / Дж. Гринштейн. - М.: Медиа, 2012. - 703 с.
18. Степанов В.М.: Молекулярная биология, структура и функции белков. - М.: Высшая школа, 1996. - С. 198

Статья поступила в редакцию 20.04.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 608.3

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0031

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCHISANDRA CHINENSIS В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

© 2021

**Фролова Нина Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент,  
*Амурский государственный университет*  
(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

**Резниченко Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, профессор,  
заведующая кафедрой управления качеством  
*Кемеровский государственный университет*  
(650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: Reznichenko@gmail.com)

**Помозова Валентина Александровна**, доктор технических наук, профессор,  
*НОЦ «Технология инновационного развития»*  
*Уральский государственный экономический университет*  
(620144 Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта д. 62, e-mail: mmip2013@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются практические и теоретические аспекты применения продуктов переработки лимонника китайского (*Schisandra chinensis*) для производства кондитерских изделий. Согласно литературным данным обоснована актуальность его использования в качестве источника биологически активных веществ. *Schisandra chinensis* является эндемиком Дальневосточного региона. *Schisandra chinensis* относится к доступному сырью с высоким содержанием в плодах аскорбиновой кислоты (580 мг), селена (7000мкг), йода (7500мкг), пищевых волокон (5,4 г), красящих, дубильных веществ, антоцианов и др. В настоящее время большое внимание уделено исследованию химического состава различных частей *Schisandra chinensis*, произрастающего на территории Дальневосточного региона. Комплексная переработки *Schisandra chinensis* и его использование в пищевых технологиях является актуальным направлением. В статье приведена характеристика химического состава и биологической ценности *Schisandra chinensis*. Уникальность химического состава плодов *Schisandra chinensis* позволяет применять данное сырье при разработке кондитерских изделий для функционального питания. В статье проанализирован список патентообладателей (физические лица, научные и высшие образовательные учреждения, перерабатывающие предприятия), количество полученных патентов и научных статей по использованию ягод *Schisandra chinensis* в технологии кондитерских изделий в десятилетнем разрезе 2010-2020 гг.

**Ключевые слова:** патенты, ягоды лимонника, кондитерские изделия, анализ.

**USE OF SCHISANDRA CHINENSIS PRODUCTS IN CONFECTIONERY PRODUCTION**

© 2021

**Frolova Nina Anatolyevna**, candidate of technical sciences, associate professor  
*Amur State University*  
(675027, Russia, Blagoveshchensk, Ignatievskoe highway, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

**Reznichenko Irina Yurievna**, doctor of technical sciences, professor, head of the department of Quality Management  
*Kemerovo State University*  
(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya st., 6, e-mail: reznichenko@gmail.com)

**Pomozova Valentina Aleksandrovna**, doctor of technical sciences, professor  
*Ural State University of Economics*  
(620144, Russia, Yekaterinburg, 8 Marta str 62, e-mail: mmip2013@mail.ru)

**Abstract.** The article discusses the practical and theoretical aspects of the use of processed products of Chinese lemongrass (*Schisandra chinensis*) for the production of confectionery. According to the literature data, the relevance of its use as a source of biologically active substances is justified. *Schisandra chinensis* is endemic to the Far Eastern region. *Schisandra chinensis* refers to the available raw materials with a high content of ascorbic acid (580 mg), selenium (7000mcg), iodine (7500mcg), dietary fiber (5.4 g), dyes, tannins, anthocyanins, etc. Currently, much attention is paid to the study of the chemical composition of various parts of *Schisandra chinensis*, which grows on the territory of the Far Eastern region. The complex processing of *Schisandra chinensis* and its use in food technologies is an actual trend. The article describes the chemical composition and biological value of *Schisandra chinensis* pilaf. The unique chemical composition of *Schisandra chinensis* fruits allows the use of this raw material in the development of confectionery products for functional nutrition. The article analyzes the list of patent holders (individuals, scientific and higher educational institutions, processing enterprises), the number of patents received and scientific articles on the use of *Schisandra chinensis* berries in confectionery technology in the ten-year context of 2010-2020.

**Keywords:** patents, lemongrass berries, confectionery, analysis.

**Введение.** Пропаганда здорового образа жизни и повышенного внимания для потребителей [1]. Интенсивное питание ежегодно становится объектом интереса к продуктам здорового питания является главным

стимулом для производителя к внедрению технологий пищевых продуктов с использованием биологически активных веществ растительного происхождения [2]. Одной из задач пищевой промышленности является также инновационная модернизация современных технологий. Использование растительного сырья в пищевых технологиях способствует повышению биологической ценности готовых изделий, приданию специфических вкусовых свойств и исключению из рецептуры синтетических пищевых добавок [3-5].

Кондитерские изделия относятся к группе пищевых продуктов ежедневного спроса. Ввиду повышенной энергетической ценности приоритетным вектором в создании продуктов для функционального питания является обогащение кондитерских изделий биологически активными веществами растительного происхождения. Одним из альтернативных путей создания функциональных продуктов является использование в рецептуре изделий региональных сырьевых ресурсов [6, 7].

Ягоды *Schisandra chinensis* относятся к эндемикам Дальневосточного региона. Актуальность использования этих ягод основана на территориальной доступности произрастания и уникальном содержании комплекса биологически активных веществ, обладающих тонизирующим действием [8-11].

Систематизация данных по химическому составу биологически активных веществ плодов *Schisandra chinensis* в среднем по показателям зависит от его составных частей (плоды, семена и кожура). Содержание биологически активных веществ в ягодах *Schisandra chinensis*, собранных в Амурской области Дальневосточного региона представлено на рисунке 1. Повышенное содержание биологически активных веществ отмечается в плодах *Schisandra chinensis*, которые, как правило, подвергают переработке. Основными продуктами переработки ягод являются: фитопорошок, экстракт, жом и семена [12, 13].

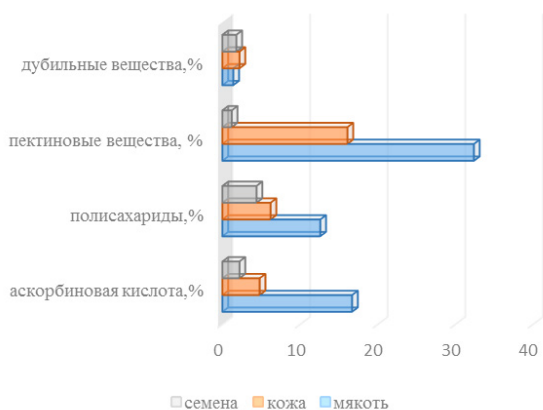


Рисунок 1 – Содержание биологически активных веществ в ягодах *Schisandra chinensis*

Данные рисунка 1 свидетельствует о том, что максимальное содержание пектиновых веществ обнаружено в мякоти ягод *Schisandra chinensis*. Пектиновые вещества обладают студнеобразующим свойством,

что говорит о возможности использования плодов ягод *Schisandra chinensis* в технологии кондитерских изделий, например, мармелада. Содержание тонизирующих веществ лимонника китайского обнаружено именно в семенах ягод. Тонизирующие свойства семян ягод обусловлены содержанием метиловых эфиров фенольных лигнанных соединений. Существенную биологическую ценность имеет полярная фракция лигнанов, содержащая комплекс из пяти лигнанных соединений: схизандрола А, схизандрола В (гомизин А), схизандрин А, схизандрин В, схизандрин С [14-18].

**Целью** исследования является анализ научных данных и патентной документации по использованию ягод *Schisandra chinensis* в производстве кондитерских изделий.

**Материалы и результаты исследований.** Объекты исследований – научные публикации и рефераты российских изобретений за период с 2010 по 2020 гг. Методы исследований – теоретический анализ, систематизация, сравнение и обобщение полученных результатов.

В ходе выполнения исследований было проанализировано 119 патентов на изобретения и 23 научных статьи за последние 10 лет (рис. 2).

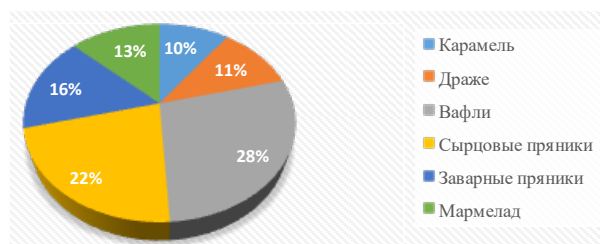


Рисунок 2 – Структура изобретений и научных статей по виду кондитерских изделий с добавлением ягод *Schisandra chinensis*, %

Диапазон кондитерских изделий с добавлением плодов лимонника китайского достаточно широк (карамель, драже, вафли и т.д.). При этом авторы изобретений наряду с рецептурой изделий описывают и технологические особенности производства кондитерских изделий, заявляя высокую биологическую ценность изделий на выходе.

Анализ научных публикаций по использованию ягод *Schisandra chinensis* свидетельствует о недостаточном применении ягод в технологиях сахаристых кондитерских изделий. Все больше ягоды используют для получения мучных кондитерских изделий. Хотя именно в сахаристых кондитерских изделиях благодаря антоцианам, пектиновым и дубильным веществам, которые содержатся в ягодах *Schisandra chinensis*, возможно исключение из рецептуры синтетических красителей, ароматизаторов и студнеобразователей. Таким образом, включение в рецептуру сахаристых кондитерских изделий ягод *Schisandra chinensis* и оценка эффективности их употребления с точки зрения физиологического воздействия является актуальным направлением.



На рисунке 3 представлена публикационная активность патентов и научных публикаций кондитерских изделий с введением ягод *Schisandra chinensis* в соответствии с годом публикации в системе «ФИПС».

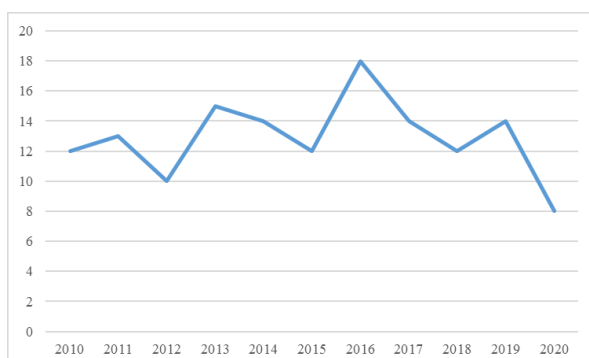


Рисунок 3 - Обобщение патентной и научных публикаций кондитерских изделий с введением ягод *Schisandra chinensis* в десятилетнем разрезе

Данные рисунка 3 свидетельствуют о том, что, что патентная документация и научные публикации имеют непостоянные пики активности по годам, так на 2010 год приходится 12 публикаций, в 2017г. – 14 публикаций, в 2020 г – 8 публикации. Интерес к ягодам *Schisandra chinensis* имеет неоднозначную тенденцию. В последнее время отмечается снижение научных исследований по использованию ягод *Schisandra chinensis* в технологиях кондитерских изделий из-за высокой калорийности. По разработанной нами технологии были получены образцы мармелада с введением сока из ягод лимонника, которые отличаются исключением из рецептуры синтетических добавок и обладают тонизирующими свойствами. Таким образом, добавление ягод *Schisandra chinensis* в сахаристые кондитерские изделия является перспективным направлением кондитерской отрасли с точки зрения создания функциональных продуктов питания.

**Заключение.** Проанализированные научные публикации и патенты на изобретения в десятилетнем разрезе позволили выявить следующие особенности: плоды *Schisandra chinensis* в технологиях кондитерских изделий используются в основном при производстве мучных кондитерских изделий (вафель, сырцовых пряников и т.д.). Замена синтетических добавок (красителей и ароматизаторов), которые используются в технологиях сахаристых кондитерских изделий на растительное сырьё (плоды *Schisandra chinensis*) позволит создать натуральные продукты, обогащенные биологически активными веществами, которые могут быть использованы для функционального питания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Marc Cohen Rosehip. An evidence based herbal medicine for inflammation and arthritis // Reprinted from Australian Family Physician, 2012. – Vol. 41. – No. 7. – PP. 495-498
2. Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I.C.F.R. Exotic fruits as a source of important phytochemicals: Improving the traditional use of Rosa canina fruits in Portugal // Food Research International. – 2011. – Vol. 44. – PP. 2233-2236.
3. Фотина Н. В., Асякина Л. К. Перспективы использования биологически активных веществ лимонника китайского

(*Schisandra chinensis* (Turcz.) ball) // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность. – 2020. – С. 90-92.

4. Мальцева А.А., Тамилина И.А., Недосекова М.А., Тринеева О.В., Сливкин А.И., Чистякова А.С. //Изучение лигнанов в листьях лимонника методом ТСХ // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015. –№ 1. – С. 147-151.

5. Колбасина Э.И. Перспективы использования лимонника *Schisandra chinensis* в качестве пищевого и растительного сырья // Аграрная Россия. –2001.– № 6. – С. 20-29.

6. N. Shkrabak, N. Frolova, T. Kiseleva, I. Sergeeva, V. Pomozova. Impact of Environmental Conditions on the Health of the Far Eastern Region Population. Appl. Sci. 2019, 9, 1354.

7. Фролова, Ю.А. Праскова, Д.Б. Пеков, Н.В. Шкрабак. Состояние и тенденции развития рынка кондитерских изделий в России // Экономика и предпринимательство. – № 5–2018.– С.919–922.

8. Фролова, Н. А. Обоснование производства карамели на основе натурального биологически активного растительного и животного сырья // Н.А. Фролова, Н.Ф. Иванкина // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2013. - №1. – С.86-89.

9. N.A. Frolova. International Scientific Conference "Far East Con" (ISCFEC 2018). Advances in strategic development of an enterprise for the production of confectionery products. Economics, Business and Management Research. Using PEST and SWOT analysis for the https. – 2018 –р.341-344.

10. Фролова Н.А., Резниченко И.Ю. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ // Вопросы питания. – 2019. – Т. 88 – № 2. – С. 83-90. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10021.

11. Галиахметова Э. Х., Кудашкина Н. В., Хасанова С. Р. Исследование содержания кверцетина в листьях лимонника китайского // Сеченовский вестник. – 2018. – № 2.

12. Фотина Н. В., Асякина Л. К. Перспективы использования биологически активных веществ лимонника китайского (*Schisandra chinensis* (Turcz.) ball) // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность. – 2020. – С. 90-92.

13. Сливкин А. И., Добрин Ю. В. Элементный состав листьев и плодов лимонника китайского, произрастающего в Воронежской области // Фармация. – 2019. – Т. 68. – №. 6. – С. 31-36.

14. Табала Е. Б. Направления повышения пищевой ценности сахаристых кондитерских изделий // Товароведно-технологические аспекты повышения качества и конкурентоспособности продукции. – 2018. – С. 96-101.

15. Ермолаева А. В. Применение плодов лимонника дальневосточного в производстве пищевых продуктов // Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – 2017. – С. 31-34.

16. Запорожский А. А. и др. Перспективы научных исследований в области разработки продуктов геродиетического назначения // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – Т. 326. – №. 2-3.

17. Фотина Н. В., Асякина Л. К. Перспективы использования биологически активных веществ лимонника китайского (*Schisandra chinensis* (Turcz.) ball) // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность. – 2020. – С. 90-92.

18. Ермолаева А. В. Применение плодов лимонника дальневосточного в производстве пищевых продуктов // Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – 2017. – С. 31-34.

Статья поступила в редакцию 11.04.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021



УДК 637.521

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0032

## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПЕЛЬМЕНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯСА КРОЛИКА И КАБАЧКА

© 2021

**Зачесова Инесса Александровна**, старший преподаватель кафедры «Товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения имени С.А. Каспарьянца»

**Шагаева Наталья Николаевна**, старший преподаватель кафедры «Товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения имени С.А. Каспарьянца»

**Федулова Юлия Сергеевна**, бакалавр факультета

«Товароведение и экспертиза сырья животного происхождения»

*Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина (109472, Россия, Москва, ул. Академика Скрябина, 23, e-mails: inessa\_zachesova@mail.ru, nata-shag@yandex.ru)*

**Аннотация.** На сегодняшний день потребление пищевой продукции с низкими потребительскими свойствами является причиной снижения качества жизни и развития ряда заболеваний населения, в том числе за счет необоснованно высокой калорийности пищевой продукции, сниженной пищевой ценности, избыточного потребления насыщенных жиров, дефицита микронутриентов и пищевых волокон [1]. Научные исследования, направленные на изучение проблем питания в России, доказали необходимость создания обогащенных продуктов питания, предназначенных для широкого круга населения [2, 3]. В настоящее время разработаны и научно обоснованы рецептуры и технологии комбинированных мясных полуфабрикатов с использованием сырья животного и растительного происхождения. Производство комбинированных полуфабрикатов позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции, а также рационально использовать сырьевые ресурсы, обеспечить население продуктами питания с высокими потребительскими свойствами. Совершенствование рецептур мясных продуктов посредством обогащения их растительным сырьем позволит улучшить питание населения, сделать его более полноценным [2, 4]. В связи с чем, определенный интерес представляет использование мяса кролика и кабачка при производстве мясных полуфабрикатов. Мясо кролика по своим потребительским свойствам значительно превосходит свинину, говядину и мясо птицы. Крольчатина обладает нежной, мягкой, сочной консистенцией, низкой калорийностью, является источником микро- и макроэлементов – железа, фосфора, магния, кобальта, меди, калия, марганца, фтора, цинка, а также витаминов PP, C, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>. Кабачок также является ценным пищевым продуктом, так как содержит в своем составе клетчатку, пектины, витамины группы B, A, C, E. Высокое содержание влаги в кабачке позволяет исключить полностью или частично добавление воды в рецептуру мясных изделий. Разработана рецептурапельменей с применением мяса кролика и кабачка. Проведен анализ органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качествапельменей, изготовленных с заменой части мясного сырья кабачком в сравнении с контрольным образцом. Определено оптимальное количество кабачка при разработке новой рецептурыпельменей. Разработанныепельмениобладают высокими потребительскими свойствами, что позволяет рекомендовать их для употребления в пищу широкому кругу потребителей.

**Ключевые слова:**пельмени, рубленые полуфабрикаты в тесте, мясо кролика, кабачок, рецептура, потребительские свойства, качество.

## DEVELOPMENT OF A RECIPE FOR DUMPLINGS USING RABBIT MEAT AND ZUCCHINI

© 2021

**Zachesova Inessa Alexandrovna**, senior lecturer of the department of commodity

«Science, technology of raw materials and products of animal and plant origin named after S.A. Kaspariants»

**Shagaeva Natalia Nikolaevna**, senior lecturer of the department of commodity

«Science, technology of raw materials and products of animal and plant origin named after S.A. Kaspariants»

**Fedulova Yulia Sergeevna**, bachelor of the faculty commodity

«Science and expertise of raw materials of animal origin»

*Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA named after K.I. Skryabin (109472, Russia, Moscow, str. Akademika Skryabina, 23, e-mails: inessa\_zachesova@mail.ru, nata-shag@yandex.ru)*

**Abstract.** To date, the consumption of food products with low consumer properties is the cause of a decrease in the quality of life and the development of a number of diseases of the population, including due to unreasonably high caloric content of food products, reduced nutritional value, excessive consumption of saturated fats, a lack of micronutrients and dietary fiber [1]. Scientific research aimed at studying the problems of nutrition in Russia has proved the need to create fortified food products intended for a wide range of the population [2, 3]. Currently, recipes and technologies of combined meat semi-finished products in various thermal conditions using raw materials of animal and vegetable origin have been developed and scientifically justified. The production of semi-finished products using raw materials of animal and vegetable origin not only expands the range of products, but also contributes to the rational use of raw materials, providing the population with food products with high consumer properties. Improving the recipes of meat products by enriching them with vegetable raw materials can improve the nutrition of the population, make it more complete and

rational [2, 4]. In this connection, the use of rabbit meat and zucchini in the production of meat semi-finished products is of particular interest. Rabbit meat is significantly superior to pork, beef and poultry meat in its consumer properties. Rabbit meat has a tender, soft, juicy consistency, low calorie content, is a source of micro- and macronutrients – iron, phosphorus, magnesium, cobalt, copper, potassium, manganese, fluorine, zinc, as well as vitamins *PP, C, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>*. Zucchini are also a valuable food product, as they contain fiber, pectins, vitamins *B, A, C, E*. The high moisture content in zucchini allows you to completely or partially exclude the addition of water to the recipe of meat products. A recipe for dumplings with the use of rabbit meat and zucchini has been developed. The analysis of organoleptic, physico-chemical and microbiological indicators of the quality of dumplings made with the replacement of part of the raw meat with zucchini in comparison with the control sample was carried out. The optimal amount of zucchini was determined when developing a new recipe for dumplings. The developed dumplings have high consumer properties, which allows us to recommend them for consumption by a wide range of consumers.

**Keywords:** dumplings, chopped semi-finished products in dough, rabbit meat, zucchini, recipe, consumer properties, quality.

**Введение.** Одними из предпочтительных продуктов питания в рационе современного человека являются продукты из мяса сельскохозяйственных животных, так как общепризнанным фактом является их высокая биологическая ценность за счет содержания в них макро- и микронутриентов [4]. При этом в последние десятилетия наблюдается динамичное развитие одного из направлений мясной промышленности – производство полуфабрикатов из мяса. Ритм жизни приобретенный человеком в 20 – начале 21 века не смог не оставить определенного отпечатка на культуре принятия пищи. Большая занятость населения в выполнении различного рода работ вынуждает его экономить время на всем. Время, отведенное на принятие пищи и тем более на ее приготовление сократилось в разы, на фоне этого спрос к полуфабрикатам постоянно растет [4-6]. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что комплексное использование мясного и растительного сырья при производстве мясных продуктов позволяет пополнять ежедневный рацион питания населения полезными для организма компонентами, а также расширить ассортимент обогащенных продуктов питания. Рубленые полуфабрикаты являются прекрасной основой для создания многокомпонентной системы, в состав которой могут входить как мясные, так и растительные компоненты, которые обеспечат продукту необходимые свойства, при которых он будет считаться обогащенным всеми необходимыми нутриентами [7-9]. Исследование спроса на полуфабрикаты из мяса [6] показало, что 34 % респондента хотят, чтобы мясной продукт был обогащен растительным сырьем. На рынке мясных полуфабрикатов в основном представлены пельмени из свинины и говядины. Пельмени из таких видов мясно-

го сырья, как крольчатина, баранина, оленина реализуются в небольших количествах. Например, пельмени из мяса кролика в Московском регионе представлены торговыми марками «Азбука вкуса» и «ВкусВилл», что недостаточно, принимая во внимание высокую пищевую ценность мяса кролика и неизменно высокий спрос на рубленые полуфабрикаты в тесте [6, 10]. Мясо кролика является ценным сырьем для производства мясных продуктов, так как обладает высокой пищевой ценностью – нежной, мягкой, сочной консистенцией, низкой калорийностью, является источником микро- и макроэлементов – железа, фосфора, магния, кобальта, меди, калия, марганца, фтора, цинка, а также витаминов *PP, C, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>* [11-15]. Ценным сырьем для производства пищевых продуктов является кабачок (*Cucurbita pepo*), содержащий пищевые волокна и богатый витаминно-минеральный комплекс, оказывающие благотворное влияние на организм человека [16-20]. В связи с вышеизложенным, считаем, что актуальным является расширение ассортимента мясных полуфабрикатов за счет производства пельменей из мяса кролика с кабачком. Данное направление является актуальным для мясоперерабатывающих предприятий и общественного питания [21-24].

**Цель** исследования – разработка рецептуры пельменей с использованием мяса кролика и кабачка.

**Материалы и результаты исследования.** Объектами исследования служили полуфабрикаты в тесте - пельмени из замороженного мяса кролика с добавлением кабачка. В лабораторных условиях были приготовлены модельные образцы, в состав которых был добавлен кабачок в свежем измельченном виде в количестве от 5 до 15% от массы основного сырья с шагом 5% в каждом образце (табл. 1) [21-23].

Таблица 1 – Рецептура пельменей из мяса кролика с кабачком

Несоленое сырье, кг на 100 кг сырья	Образец				Пряности и вспомогательные материалы, г на 100 кг несоленого сырья	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4		
Для начинки						
Фарш из мяса кролика	85	80	75	70	Соль поваренная пищевая	2000
Кабачки свежие	-	5	10	15		
Лук репчатый свежий	10	10	10	10	Перец черный молотый	250
Шпик свиной	5	5	5	5		
Итого:	100	100	100	100		
Для теста						
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта		60				
Соль поваренная пищевая		1,5				
Вода питьевая		38,5				
Итого:		100				

Экспериментальную часть выполняли в ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА имени К.И. Скрябина на кафедре товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения имени С.А. Каспарьянца. Изучение органолептических и физико-химических показателей качества выработанных полуфабрикатов проводили по стандартной методике в соответствии с требованиями ГОСТ 32951. Показатели микробиологической безопасности полуфабрикатов проверяли путем высева на питательные среды и подсчета выросших колоний [24].

Оценку качествапельменей из мяса кролика с добавлением кабачка проводили по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям, результаты которой представлены в таблицах 2, 3, 4.

Результаты дегустационной оценки качествапельменей по 9-балльной шкале представлены на рисунке 1.

В результате исследования органолептических по-

казателей качествапельменей установлено, что добавление измельченного кабачка в фаршевую систему в количестве от 5% до 15% от массы основного сырья не оказывает существенного влияния на органолептические показатели, а именно внешний вид, вид на разрезе, цвет и запах полуфабрикатов. При этом выявлено, что консистенцияпельменей изменяется при добавлении кабачка. Количественное сочетание ингредиентов в образце с 15% кабачка позволило получить продукт с сочной, нежной и ароматной начинкой. При остальных соотношениях мяса кролика и кабачка положительной динамики в улучшении органолептических свойств не установлено.

Дегустационная оценка качествапельменей показала, что образец № 4 получил более высокую оценку (с добавлением 15% кабачка) - 8,3 балла, по сравнению с контрольным образцом № 1 (без добавления кабачка), получившим оценку 7,5 балла. Причем самые высокие баллы были поставлены дегустаторами образцу № 4 за консистенцию и сочность.

Таблица 2 – Рецептурапельменей из мяса кролика с кабачком

Наименование показателя	Требования ГОСТ 32951-2014	Образец			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Внешний вид	Изделия разнообразной формы и массы в зависимости от наименования полуфабриката, неслипшиеся, недеформированные, края хорошо заделаны, фарш не выступает, поверхность сухая	Пельмени имеют классическую форму полукруга, не слипшиеся, недеформированные, края хорошо заделаны, фарш не выступает, поверхность сухая			
Вид на разрезе	На срезе изделия видно тестовую оболочку окружающую начинку в виде фарша, или куска (кусочков) мяса, или смеси мясных и немясных ингредиентов различного измельчения	На разрезе видно тестовую оболочку окружающую начинку в виде фарша	На разрезе видно тестовую оболочку окружающую начинку в виде фарша с включением кабачков [3]		
Цвет, запах и вкус	Свойственные данному наименованию полуфабриката с учетом используемых рецептурных компонентов, без посторонних привкуса и запаха	Цвет начинки в сыром виде светло-розовый. Вареные пельмени достаточно вкусные и ароматные, в меру соленный	Цвет начинки в сыром виде светло-розовый. Вареные пельмени вкусные и ароматные, в меру соленный с вкусом кабачков	Цвет начинки в сыром виде светло-розовый. Вареные пельмени вкусные и ароматные, в меру соленный с вкусом кабачков	Цвет начинки в сыром виде светло-розовый. Вареные пельмени вкусные и ароматные, в меру соленный с вкусом кабачков
Консистенция	Не регламентируется	Фарш недостаточно сочный и нежный	Фарш достаточно сочный и нежный	Фарш достаточно сочный, нежный	Фарш очень сочный и нежный

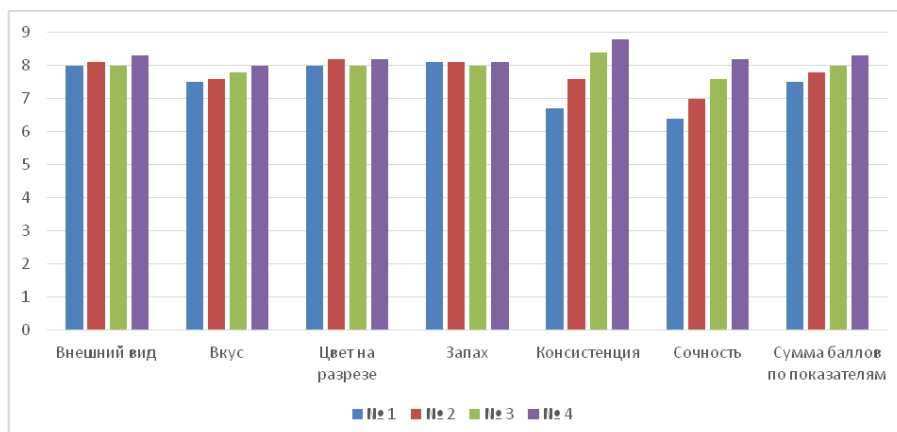


Рисунок 1 – Дегустационная оценка качествапельменей из мяса кролика с кабачком, баллы

Таблица 3 – Физико-химические показатели качествапельменей из мяса кролика с кабачком

Наименование показателя	Требования ГОСТ 32951-2014	Образец			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Массовая доля: жира, %	не более 50,0 не менее 10,0 не регламентируется	14,2	13,4	12,8	12,1
белка, %		17,9	16,6	15,7	14,9
влаги, %		65,8	67,9	69,5	71,0

В результате физико-химических исследований установлено, что качество образцовпельменей находится в прямой зависимости от количества добавленного кабачка.

Выявлено, что массовая доля жира и массовая

доля белка незначительно уменьшаются по мере увеличения количества кабачка в рецептурепельменей. При этом следует отметить, что показатели качествапельменей соответствуют требованиям ГОСТ 32951-2014 [24].

Таблица 4 – Микробиологические показатели качествапельменей из мяса кролика с кабачком

Наименование показателя	Требования ТР ТС 034/2013	Образец			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	$2 \times 10^6$	$3 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
бактерии группы кишечной палочки (колиформы) в 0,0001 г	не допускаются	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
плесень, КОЕ/г, не более	500	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено

Исследования микробиологических показателей качествапельменей, показали, что все образцы по показателям безопасности соответствуют требованиям ТР ТС 034/2013 О безопасности мяса и мясной продукции [25].

**Заключение.** Разработана рецептурапельменей из мяса кролика с кабачком. Исследование качествапельменей показали, что оптимальным является внесение 15% кабачка от массы мясного сырья. Благодаря внесению в рецептурупельменей кабачка фарш становится очень сочным и нежным, а приготовленныепельмени характеризуются высокими органолептическими свойствами. Физико-химические показателипельменей, изготовленных по предлагаемой рецептуре, соответствуют требованиям ГОСТ 32951-2014. Микробиологические показатели качествапельменей соответствуют требованиям ТР ТС 034/2013, что свидетельствует об их безопасности. Разработанный полуфабрикат за счет сочетания мяса кролика с мякотью кабачка обладает высокими потребительскими свойствами в связи с чем, может быть рекомендован для промышленного производства для широкого круга потребителей, в том числе для предприятий общественного питания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. от 29 июня 2016 года № 1364-р.
2. Зинина, О.В. Обзор разработок комбинированных рубленых полуфабрикатов / О. В. Зинина. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 21 (101). — С. 165-168.
3. Барышникова, Н.И. Функциональное питание-элемент здоровья человека/ Н. И. Барышникова, А. В. Паймулина // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы конференции.. — 2014. — С. 242-244.
4. Зачесова Инесса Александровна. Формирование и оценка потребительских свойств полуфабрикатов из мяса северного оленя : диссертация ... кандидата технических наук :

05.18.15 / Зачесова Инесса Александровна, [Место защиты: ОГУ имени И.С. Тургенева]. – Орел, 2020. – 153 с.

5. Богатырева Жанна Игоревна. Получение и применение белковых препаратов люпина в технологии функциональных продуктов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.18.07, 05.18.01 / Богатырева Жанна Игоревна; [Место защиты: Воронеж. гос. технол. акад.]- Воронеж, 2009.- 292 с.

6. Зачесова, И.А. Анализ предпочтений потребителей на рынке мясных полуфабрикатов московского региона / И.А. Зачесова, С.В. Колобов, А.И. Сапожникова // Товаровед продовольственных товаров. - 2017. - № 5-6. - С. 67-74.

7. Сычева, О.В. Использование продуктов переработки растительного сырья в технологии мясных полуфабрикатов / О.В. Сычева, Е.А. Скорбина, И.А. Трубина, С.А. Измайлова, Д.А. Измайлова // ТППП АПК. 2017. №4 (18). - С. 43-46.

8. Гаврилова, Е.В. Растительное сырье в производстве полуфабрикатов мясных рубленых / Е.В. Гаврилова // Сельскохозяйственный журнал. 2014. №7. - С.50-55.

9. Пронина Н.М., Сенькина Т.А. Использование растительного сырья в производстве мясных полуфабрикатов / Н.М. Пронина, Т.А. Сенькина // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 180-180.

10. Глинкина, И.М. Анализ современного состояния российского рынка мясных полуфабрикатов в тесте / И.М. Глинкина, Е.И. Рыжков // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. - 2020. - № 1 (14). - С. 28-32.

11. Волкова, О.В. Изучение качества отрубов тушки кроликов / О.В. Волкова, К.С. Есенбаева // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. - 2016. - № 3 (34). - С. 50-55.

12. Курчаева, Е.Е. Использование композитных смесей в технологии мясных изделий функционального назначения с применением мяса кролика / Е.Е. Курчаева, В.Л. Пашенко, А.О. Рязанцева, Ю.А. Сафонова // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. - 2018. - № 1 (10). - С. 66-79.

13. Калугин, Ю.А. Сравнительная характеристика говядины и крольчатины / Ю.А. Калугин, О.И. Федорова // Вестник мясного скотоводства. - 2014. - № 4 (87). - С. 68-72.

14. Волкова, О.В. Морфологический состав и биологическая ценность мяса кроликов / О.В. Волкова, А.Т. Инербаева, К.Я. Мотовилов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2009. - № 8 (200). - С. 97-101.

15. Антипова, Л.В. Оценка свойств мяса кролика как сырья для производства функциональных продуктов / Л.В. Антипова, Я.А. Попова, А.В. Черкасова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2019. Т. 81. - № 1 (79). - С. 207-212.



16. Рыгалова, Е.А. Возможность использования мякоти бахчевых культур (*cucurbita* и *cucurbita pepo* subsp. *pepo*) при разработке полуфабрикатов мясных в тесте / Е.А. Рыгалова, Е.А. Речкина, Г.А. Губаненко, Н.А. Величко, Н.И. Селиванов // Вестник КрасГАУ. - 2020. - № 7 (160). - С. 173-180.

17. Фёдоров, М.Ю. Использование растительного сырья в технологии рубленых полуфабрикатов / М.Ю. Фёдоров, М.Н. Ткаченко // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи. Сборник статей по материалам XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева. Под общей редакцией И.Н. Миколайчика. - 2019. - С. 274-278.

18. Зачесова, И.А. Использование порошка топинамбура в производстве мясных рубленых полуфабрикатов / И.А. Зачесова, С.В. Колобов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. - 2018. - № 3 (50). - С. 6-11.

19. Страхова, С.А. Влияние компонентов сырья на качество пельменей / С.А. Страхова, А.А. Меркулова, И.А. Зачесова // Товаровед продовольственных товаров. - 2017. - № 12. - С. 23-26.

20. Шагаева, Н.Н. Разработка рецептуры рубленых полуфабрикатов из мяса лося / Н.Н. Шагаева, С.В. Колобов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. - 2018. - № 5 (52). - С. 9-13.

21. Данилова И.А. Эффективность производства некоторых видов мясных полуфабрикатов в современных условиях / И.А. Данилова, Г.В. Чебакова, К.В. Есепенок // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы X Международной научно-практической конференции, 23 июня 2020 года. В 2-х томах. Том 1. - Ульяновск, ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2020. - С. 49.

22. Шагаева, Н.Н. Исследование биологической ценности свекловичных пищевых волокон / Н.Н. Шагаева, С.В. Колобов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы X Международной научно-практической конференции, 23 июня 2020 года. В 2-х томах. Том 1. - Ульяновск: ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. - 2020. - С. 76-80.

23. Величко, Н.А. Разработка рецептуры и технологии мясного рубленого полуфабриката с растительным компонентом / Н.А. Величко, А.А. Пьянзина // Вестник КрасГАУ. - 2020. - № 3. - С. 164-170.

24. ГОСТ 32951-2014 Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия. - Введ. 01.01.2016. - М.: - Изд-во Стандартинформ, 2015. - 5-6 с.

25. ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»

*Статья поступила в редакцию 24.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК: 007.52

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0033

**АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ  
В РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

© 2021

**Аббасов Мугабил Ширмамед оглы**, соискатель кафедры «Высшая математика»  
*Камчатский Государственный Технический Университет*  
(683003 г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35, e-mail: muqabil@mail.ru)

**Аннотация.** Внедрение робототехники и автоматизации в пищевой промышленности предлагает большой потенциал для повышения безопасности, качества и прибыльности за счет оптимизации мониторинга и управления процессами. Целью научной работы является исследование возможности увеличения производительности и полной автоматизации существующих механизмов рабoоbработки. В статье рассмотрены алгоритмы, функционирующие на основе применения теории массового обслуживания (ТМО), автоматизации процессов, исследованы структурные схемы автоматизированной системы обработки рыбных продуктов. Для поставленной цели необходимо решить ряд задач: исследовать существующий алгоритм автоматизации процессов обработки рыбных продуктов; выявить слабые и трудоемкие процессы; предложить возможные варианты увеличения производительности и полной автоматизации существующих механизмов рабoоbработки. В результате исследования получен новый алгоритм с автоматизированной линией обработки рыбной продукции, полностью заменяющий трудоемкие процессы.

**Ключевые слова:** автоматизация, теория массового обслуживания, рыбохозяйственный комплекс, автоматизированная система обработки.

**ALGORITHMS FOR AUTOMATING THE PROCESSING OF FISH PRODUCTS  
IN THE FISHERIES COMPLEX**

© 2021

**Abbasov Mugabil Shirmamed oglu**, candidate of sciences department of Higher Mathematics  
*Kamchatka State Technical University*  
(683003 Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya str., 35 Email: muqabil@mail.ru)

**Abstract.** The introduction of robotics and automation in the food industry offers great potential for improving safety, quality and profitability by optimizing process monitoring and management. The purpose of the research is to study the possibility of increasing productivity and fully automating the existing mechanisms of slave processing. The article deals with algorithms that operate on the basis of the application of the theory of queuing (TMO), process automation, and the structural schemes of an automated system for processing fish products. For this purpose, it is necessary to solve a number of tasks: to investigate the existing algorithm for automating the processing of fish products; to identify weak and time-consuming processes; to offer possible options for increasing productivity and fully automating the existing mechanisms of slave processing. As a result of the research, a new algorithm with an automated processing line for fish products was obtained, completely replacing labor-intensive processes.

**Keywords:** automation, queuing theory, fisheries complex, automated processing system.

**Введение.** Повышение продовольственной безопасности Российской Федерации за счет постепенного увеличения потребления рыбы и других продуктов из водных биологических ресурсов, обеспечение высокой доли отечественной продукции в структуре потребления рыбной продукции и роли Российской Федерации как основного поставщика рыбы, разработана стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года и план мероприятий по ее реализации. Робототехника и автоматизация пищевых продуктов дают исчерпывающий обзор текущих и новых технологий и их приложений в различных отраслях промышленности. Развитие рыболовства в России тесно связано с процессами модернизации и механизации основных производственных процессов обработки рыбных продуктов. Объектом исследования являются поточные линии обработки рыбных продуктов. Научная новизна исследования заключается в рассмотрении возможности процессов автоматизации для увеличения объемов производства

с точки зрения наличия технического обеспечения. Рыболовство является отраслью народного хозяйства. Именно рыбное хозяйство - отрасль экономики страны, обеспечивающая взаимодействие с мировым рынком. В связи с возрастающим объемом производимой рыбной продукции возникает необходимость в совершенствовании и автоматизации процессов обработки рыбных продуктов.

Внедрение робототехники и автоматизации в пищевой промышленности предлагает большой потенциал для повышения безопасности, качества и прибыльности за счет оптимизации мониторинга и управления процессами. Робототехника и автоматизация пищевых продуктов дают исчерпывающий обзор текущих и новых технологий и их приложений в различных отраслях промышленности. Потребители все больше обращают внимание на здоровое и сбалансированное питание. По данным Евробарометра, 25% европейцев считают, что употребление большего количества рыбы считается более здоровым. Поскольку

это число явно растет, растущий спрос на высококачественную рыбу и морепродукты создает давление на высококонкурентную отрасль. Спрос на сырье и его высокое качество увеличивается с той же скоростью, что и производственные мощности.

Ресурсная база отечественного рыболовства имеет значительный потенциал для роста вылова водных ресурсов. С учетом больших запасов отечественного рыболовства возникает необходимость в совершенствовании уже существующих механизмов переработки рыбной продукции, поэтому автоматизация процессов во многом является решением проблемы увеличения объемов перерабатываемой продукции.

**Целью** работы является исследование возможности увеличения производительности и полной автоматизации существующих механизмов рабoоbработки.

**Материалы и результаты исследования.** Рыба и рыбные продукты во всем мире употребляются как один из видов богатой белком пищи. Вместе с другими морепродуктами рыба является основным источ-

ником высококачественного белка в мире и более одного миллиарда человек полагаются на рыбу как на основной источник животного белка который составляет 14-16% потребляемого животного белка во всем мире. Рыба также является хорошим источником различных витаминов и минералов, которые жизненно важны для здорового функционирования человеческого организма. На протяжении десятилетий рыбоперерабатывающие предприятия во всем мире использовали возможности повышения производительности и снижения затрат за счет автоматизации. Усиление автоматизации означает большее количество ролей в технических областях бизнеса, таких как управление, программное обеспечение, техническое обслуживание и инжиниринг.

Первичная автоматизированная переработка рыбной продукции включает в себя следующие процессы: взвешивания, сортировки, и дозирования. Простейший алгоритм обработки рыбной продукции на заводах представлен на рисунке 1.

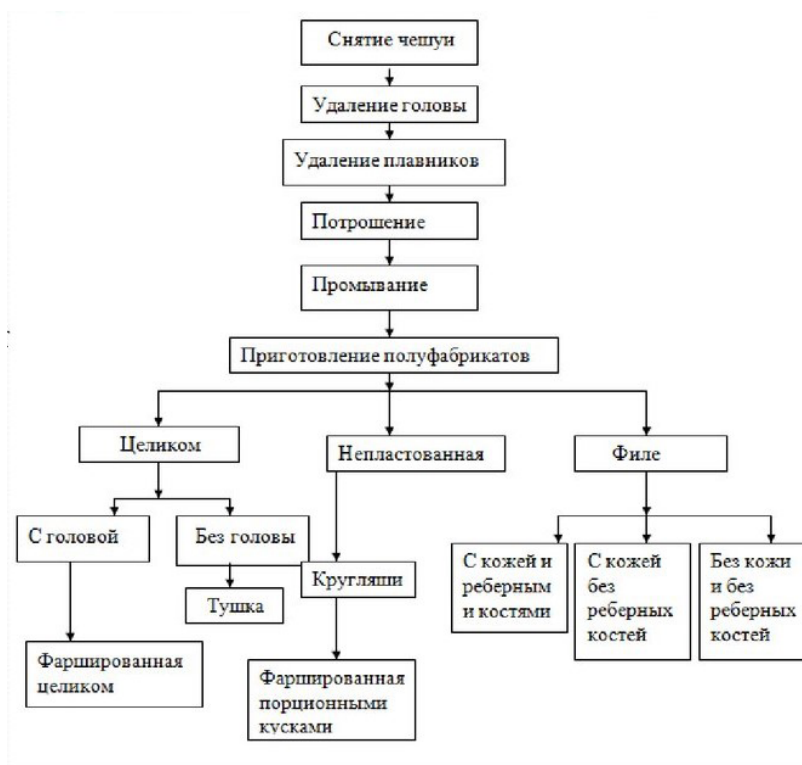


Рисунок 1 – Алгоритм автоматизации рыбообработки

Такой алгоритм представляет собой ряд трудоемких процессов: снятие чешуи, удаление головы, удаление плавников, потрошение и промывание. Для крупных производств все перечисленные процессы являются полностью автоматизированными, однако в связи с развитием рыбной отрасли необходимо совершенствовать существующие линии обработки.

Предлагается внедрение линии сортировки и взвешивания, которая позволит контролировать процесс обработки рыбной продукции с учетом веса и размера поступающей продукции (рис. 2). Механизм для контроля веса и количества это специализированная небольшая стационарная электромеханическая гори-

зонтальная поточная линия с компьютерным управлением для использования в продуктовых магазинах, специализирующихся на переработке свежей или замороженной рыбы. Ближайшая задача этого оборудования - автоматизировать процесс определения массы единицы товара и последующей ее сортировки.

Линия для взвешивания и сортировки рыбы эффективно заменяет 6-10 человек, так как скорость сортировки достигает 240 штук в минуту. Опоры рамы смонтированы на роликах, благодаря чему станок можно легко переместить в любое удобное место в мастерской. Рабочая зона представляет собой цепочку равномерно расположенных лотков, движущихся по

замкнутому контуру. Каждый из этих лотков установлен на подвижном колесе, с помощью которого он разгружает тушу, как самосвал. Во время движения индикатор веса автоматически определяет вес и отправляет сигнал на компьютер. Как правило, весы работают с дополнительным ленточным конвейером, с которого продукты по отдельности подаются на чашу весов. Одним из преимуществ этого метода сортировки является минимизация контакта человека с продуктом, что, в свою очередь, повышает уровень безопасности пищевых продуктов.



Рисунок 2 – Специализированная линия для взвешивания и сортировки рыбы

Еще одним этапом автоматизированной переработки является потрошение, для которого используется конвейер для потрошения и филетирования рыбы. Линия для потрошения сырья может быть ручной и автоматической. В первом случае ее основу составляет конвейер, вдоль которого расположены рабочие места для персонала, ведущие непосредственно удаление икорного ястыка и внутренностей, инспекцию рыбы и при необходимости ее отбраковку [9,10].

Серия рабочих станций, соединенных системой передачи и электрической системой управления, известна как автоматизированная производственная линия. Каждая из этих рабочих станций выполняет определенную задачу или операцию, и продукт обрабатывается на каждой станции с различными этапами, выполняемыми по мере его движения по производственной линии в установленной последовательности.

В соответствии с запрограммированными командами автоматизированная производственная линия представляет собой процесс, в котором сырье поступает, а готовая продукция выходит, практически без вмешательства человека. Точный, быстрый и стабильный производственный процесс увеличивает время производства и снижает стоимость производимой продукции, сокращая при этом место для человеческих ошибок и обеспечивая стабильный результат.

Выполнение рутинных повторяющихся задач может быть опасным и утомительным, поскольку внедрение автоматизации позволяет повысить квалификацию сотрудников и избежать риска *RSI*, нехватки персонала и т.д. А роботы также могут выполнять

задачи, которые считаются слишком опасными для людей, способные поднимать значительные веса и размеров с повышенной скоростью и выносливостью. Позволяя сотрудникам стать программистами и контролировать машины, давая информацию только при необходимости.

На производстве существуют три системы автоматизации; жесткая автоматизация (также известная как «фиксированная автоматизация»), программируемая автоматизация и мягкая автоматизация (также известная как «гибкая автоматизация»). Тип используемой автоматизации определяется продуктом и объемом. В рыбной промышленности многие вспомогательные операции не автоматизированы. Для их автоматизации необходимо использовать гибкие линии и новые технологии производства.

Нет систем автоматической идентификации ориентиров. Доля ошибок автоматического позиционирования ориентиров составила менее 3%, а доля стандартных ошибок прогноза – менее 1,5%.

Этот метод может быть использован в пищевой промышленности [12]. Модернизация рыбообработки может осуществляться с помощью методов машинного зрения – это неразрушающий, быстрый, экономичный, последовательный и объективный инструмент мониторинга и метод оценки, основанный на анализе и обработке изображений с использованием различных приложений [13-14].

**Заключение.** Автоматизация предоставляет мощные решения для управления широким спектром приложений. Автоматизация процессов обработки рыбных продуктов является необходимым шагом на пути совершенствования и развития рыбохозяйственного комплекса. В статье проанализирован процесс автоматизации рыбного цеха с помощью внедрения поточной линии. Преимуществами процессов автоматизации является минимизация использования трудовых ресурсов и обеспечение непрерывности процесса. В статье рассмотрен алгоритм автоматизации рыбной продукции. Предложен метод увеличения производительности обработки с помощью специализированной линии для взвешивания и сортировки рыбы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Об утверждении Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по ее реализации. Техэксперт. Электронный фонд нормативной и правовой информации. – Электронный ресурс. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/563879849> - Дата обращения (03.11.2020).
2. Кошуняева Н.В., Патронова Н.Н. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач) / САФУ имени М.В. Ломоносова. - Архангельск; САФУ, 2013 - 107 с.
3. Супрунова Е.А., Поспелов Ю.В. Состояние механизации и автоматизации производственных процессов разделочных участков линий выпуска консервов. Научные труды Дальрыбвтуза. 2008. Электронный ресурс. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-mehanizatsii-i-avtomatizatsii-proizvodstvennyh-protssesov-razdelochnyh-uchastkov-linii-vypuska-konservov/viewer> - Дата обращения (12.11.2020)
4. Поспелов Ю.В. Машины, автоматы, поточные линии и их проектирование. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. 235 с.
5. Поспелов Ю.В. Основы расчета и конструирования



машин и аппаратов пищевых производств. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2006. 325 с.

6. Фатыхов Ю.А., Шлемин А.В., Агеев О.В. Современный подход к разработке ресурсосберегающего разделочно-филетировочного оборудования. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007. № 3. С.91-94. Электронный ресурс. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-podhod-k-razrabotke-resursosberegayuschego-razdelochno-filetirovochnogo-oborudovaniya/viewer> - Дата обращения (12.11.2020)

7. Карпов В.И. Технологическое оборудование рыбообработывающих производств. – М.: Колос, 1993. – 100 с.

8. Уманцев А.З. Физико-механические характеристики рыб. – М.: Пищевая пром-сть, 1980. – 152 с.

9. Соломенцев Ю.М. Управление гибкими производственными системами. – М., 1988. – 352 с.

10. Супрунова Е.А., Поспелов Ю.В. Состояние механизации и автоматизации производственных процессов разделочных участков линий выпуска консервов. Научные труды Дальрыбвтуза. 2008.

11. V. I. Komlatsky, T. A. Podoinitsyna, V. V. Verkhoturov, Y A Kozub. Automation technologies for fish processing and production of fish products. Journal of Physics Conference Series. December 2019. DOI:10.1088/1742-6596/1399/4/044050

12. S. C. Agarwal. Fish Processing and Fish Products. December 2020. Pp.233-279 DOI:10.1201/9781003163756-10

13. Anais Penven, Raúl Pérez-Gálvez. By-products from Fish Processing. Utilization of Fish Waste. Pp.1-25. June 2013. DOI:10.1201/b14944-2

14. И. Ю. Квятковская, И. Космачева, И. Сибикина, Л. Галимова. Модульная структура обработки данных в автоматизированных системах управления рисками в рыбной отрасли. Материалы конференции по творчеству в интеллектуальных технологиях и науке о данных. Август 2017 г. DOI: 10.1007/978-3-319-65551-2\_21

*Статья поступила в редакцию 06.05.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 331.452

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0034

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ СИГНАЛИЗАЦИИ  
ЗАДНЕГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

© 2021

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

**Хасанова Марина Леонидовна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам

**Руднев Валерий Валентинович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам

*Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет*

*(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69,*

*e-mails: oad2005@mail.ru, marina24-03@mail.ru, rudnevrv@cspu.ru)*

**Аннотация.** Данная статья посвящена решению проблемы снижения риска несчастных случаев, связанных с наездом грузовых автомобилей при их движении задним ходом на работников. Наиболее эффективным способом предотвращения подобных несчастных случаев является максимальное ограничение маневрирования автомобилей задним ходом, а также присутствия работающих в зоне движения транспортных средств путем разработки рациональных схем движения. Но при этом звуковая сигнализация заднего хода остается одним из наиболее распространенных средств обеспечения безопасности работающих вблизи движущихся автомобилей. Звуковые сигналы имеют преимущество перед визуальными, так как они обычно привлекают внимание людей независимо от направления взгляда. Однако в ряде случаев сигнализация заднего хода является недостаточно эффективной. Зачастую звуковые сигналы не воспринимаются из-за фонового шума. Нередки случаи, когда сигнал трудно локализовать в пространстве, и он не вызывает у работника необходимость переместиться в безопасную зону. Иногда он просто игнорируется, например, в случаях, когда сигнал срабатывает часто без наличия какой-либо реальной опасной ситуации. В некоторых случаях сигналы заднего хода являются настолько громкими и раздражающими, что рабочие предпочитают отключать их. Использование звуковых сигналов при уровнях громкости, слишком высоких по сравнению с фоновым шумом, вызывает значительные неудобства не только для рабочих, но и для жителей близлежащих районов. При этом в настоящее время не существует достаточно четких рекомендаций относительно настройки отношения сигнал/шум. В связи с вышесказанным с целью определения оптимального отношения сигнал/шум были проведены эксперименты по определению порогов обнаружения и реагирования для двух типов сигналов заднего хода грузовых автомобилей при наличии различных видов фонового шума.

**Ключевые слова:** безопасность труда, грузовой автомобиль, сигнал заднего хода, уровень шума, порог обнаружения, порог реагирования.

**DETERMINING THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE TRUCKS REVERSE SIGNALS SETTINGS**

© 2021

**Dmitriev Mikhail Sergeevich**, doctor of engineering sciences, professor of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

**Khasanova Marina Leonidovna**, candidate of engineering sciences, associate professor, associate professor of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

**Rudnev Valery Valentinovich**, candidate of engineering sciences, associate professor, head of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

*South Ural State Humanitarian Pedagogical University*

*(Russia, 454080, Chelyabinsk, 69 Lenin Ave., e-mails: oad2005@mail.ru, marina24-03@mail.ru, rudnevrv@cspu.ru)*

**Abstract.** This paper is dedicated to solving the problem of reducing the risk of accidents associated with collisions with trucks when reversing. The most effective way to prevent such accidents is to limit as much as possible the reverse maneuvering of vehicles, as well as the presence of workers in the vehicles' movement area by developing rational traffic patterns. But at the same time, the audible reverse alarm remains one of the most common means of ensuring the people working near moving vehicles safety. Audible signals take precedence over visual ones as they tend to grab people's attention regardless of the direction they are looking. However, in some cases, the reverse signaling is not effective enough. Often, audio signals are not picked up due to background noise. There are often cases when the signal is difficult to localize in space, and it does not cause the worker to move to a safe area. Sometimes it is simply ignored, for example in cases where the signal is triggered often without any real dangerous situation present. In some cases, the reversing signals are so loud and annoying that workers prefer to turn them off. The use of audio signals at loudness levels that are too high compared to background noise causes significant inconvenience not only for workers, but also for the surrounding areas residents. At the same time, there are currently no sufficiently clear recommendations regarding the setting of the signal-to-noise ratio. In connection with the above, in order to determine the optimal signal-to-noise ratio,

experiments were carried out to determine the detection and reaction thresholds for two types of truck reverse signals in the presence of various types of background noise.

**Keywords:** safety at work, truck, reverse signal, noise level, detection threshold, reaction threshold.

**Введение.** Среди несчастных случаев на производстве, происходящих в нашей стране, далеко не последнее место занимают случаи, связанные с наездом грузовых автомобилей, движущихся задним ходом, на работников. Наилучшим способом предотвращения подобных несчастных случаев является максимальное ограничение маневрирования автомобилей задним ходом, а также присутствия работающих в зоне движения транспортных средств путем разработки рациональных схем движения. Но при этом звуковая сигнализация заднего хода остается одним из наиболее распространенных средств обеспечения безопасности работающих вблизи движущихся автомобилей [1-3].

Существует несколько рекомендаций, чтобы сделать ее использование более безопасным или, по крайней мере, оптимизировать его [4-7]:

1) сигнализация должна быть размещена в оптимальном месте (в задней части грузового автомобиля на высоте от 1 до 2 м), чтобы рабочий, находящийся в опасной зоне, мог видеть ее;

2) следует обеспечить оптимальную регулировку громкости сигнала с учетом всех источников шума вокруг транспортного средства;

3) максимально допустимая скорость движения задним ходом должна составлять 12,6 км/ч, чтобы обеспечить правильное соотношение сигнал/шум и минимальное время реакции в 2 секунды;

4) использование широкополосной сигнализации рекомендуется в ситуациях, когда несколько транспортных средств одновременно выполняют маневры задним ходом, и для минимизации рисков, связанных с неудовлетворительной слуховой локализацией.

Звуковая сигнализация заднего хода, с одной стороны, является средством минимизации риска наезда транспортных средств на работников, с другой стороны, из-за высокой громкости производимых ей звуков очень часто причиняет значительные неудобства для людей, проживающих вблизи производств, где используются автомобили, выполняющие маневры задним ходом.

Звуковые сигналы имеют преимущество перед визуальными, заключающееся в том, что первые обычно привлекают внимание людей независимо от направления взгляда.

Однако несчастные случаи могут произойти на рабочем месте, если звуковые сигналы не воспринимаются из-за фонового шума. Использование средств индивидуальной защиты органов слуха также снижает уровень восприятия. Нередки случаи, когда звуковой сигнал трудно локализовать в пространстве, и он не вызывает у работника необходимость переместиться в нужном (безопасном) направлении. Зачастую он просто игнорируется, например, в случаях, когда сигнал срабатывает часто без наличия какой-либо реальной опасной ситуации.

В некоторых случаях сигналы заднего хода являются настолько громкими и раздражающими, что рабочие предпочитают отключать их.

Следовательно, необходимо обеспечить оптимальную конструкцию и регулировку звуковой сигнализации заднего хода, чтобы своевременно предупреждать рабочих, находящихся в зоне движения транспортных средств, при одновременном сокращении неприятных ощущений, связанных с создаваемым ей шумом.

**Материалы и результаты исследований.** Анализ результатов проведенных ранее исследований показал, что существуют следующие основные причины недостаточно эффективного использования звуковой сигнализации заднего хода грузовых автомобилей [8-14].

1. Слишком высокое значение отношения сигнал/шум. Данные исследований показывают, что звуковые сигналы заднего хода часто используются при уровнях громкости, слишком высоких по сравнению с фоновым шумом, что вызывает значительные неудобства как для рабочих, так и для жителей близлежащих районов. При этом не существует достаточно четких рекомендаций относительно выбора оптимального отношения сигнал/шум.

2. Неправильное размещение сигнализации на транспортных средствах. Установка сигнализации заднего хода на автомобили в большинстве случаев выполняется без учета акустических характеристик. Другими словами, сигнализация обычно устанавливается в неподходящих с акустической точки зрения местах. Часто это производится из практических соображений, например, чтобы облегчить техническое обслуживание или по другим причинам. Это может привести к снижению уровня безопасности работников. Однако четких указаний по оптимальной установке сигнализации на транспортных средствах в настоящее время не существует. Поэтому необходимо получить объективные данные о влиянии неправильного размещения сигнализации на безопасность труда.

3. Сложность локализации при одновременном срабатывании нескольких предупреждающих сигналов. На многих рабочих местах одновременно могут срабатывать несколько сигналов, что вызывает проблемы с их локализацией.

4. Сложность обнаружения сигналов при сосредоточении внимания работника на основной производственной задаче. В связи с вышеизложенным, целью исследования является минимизация риска несчастных случаев, связанных с наездом грузовых автомобилей на работников, путем анализа распространения звука, слышимости и локализации двух основных типов сигналов заднего хода (тональных и широкополосных) в различных производственных условиях.

В данной работе представлено решение следую-

щих задач, направленных на достижение поставленной цели:

1. Определить в лабораторных условиях оптимальные параметры двух основных типов сигналов заднего хода, обеспечивающие их адекватную слышимость.

2. Определить в лабораторных условиях оптимальное соотношение сигнал/шум для тональных и широкополосных сигналов, позволяющее работнику вовремя среагировать и переместиться в безопасное место.

**Результаты исследования.** Для обеспечения безопасности рабочих, находящихся в зоне движения транспортных средств, сигнализация заднего хода должна быть настроена на такое отношение сигнал/шум, которое не только позволяет людям адекватно слышать сигналы, но и вызывает реакцию (необходимость обернуться в сторону грузового автомобиля или покинуть опасную зону достаточно быстро, чтобы из-

бежать наезда) [15-17]. С другой стороны, сигнал не должен быть слишком громким, чтобы не вызывать чрезмерное раздражение и не причинять неудобства работающим вблизи транспортных средств. С учетом этого, оптимальное соотношение сигнал/шум определяется в данном исследовании как разница между уровнем громкости звука сигнала заднего хода и уровнем окружающего (фоновый) шума, которая вызывает чувство опасности, достаточное для того, чтобы вызвать необходимую реакцию.

С целью определения оптимальных параметров сигналов заднего хода были проведены лабораторные исследования порогов обнаружения и порогов реагирования.

Спектральный состав тональных и широкополосных сигналов заднего хода, использованных в данном исследовании, представлен на рисунке 1.

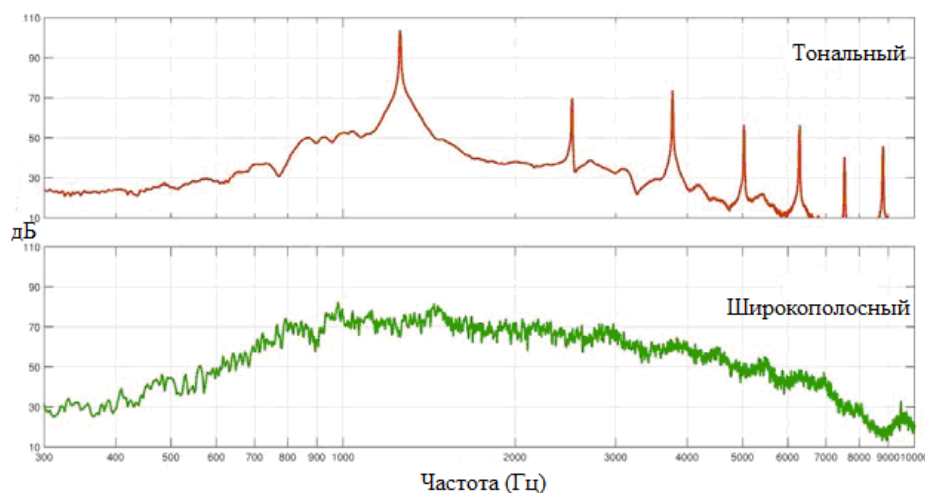


Рисунок 1 – Спектральный состав сигналов заднего хода

В процессе исследования с целью охвата большого спектра низких, средних и высоких частот были отобраны двенадцать видов фонового шума. Они представляют собой реалистичные звуки, которые могут встречаться на производствах, где используются грузовые автомобили с сигнализацией заднего хода. В частности, использовались записи звуков дорожного движения, строительных площадок, карьеров, лесопилок, различных инструментов и оборудования.

В лабораторных исследованиях по измерению порогов обнаружения и реагирования приняли участие 24 человека (18 женщин и 6 мужчин) в возрасте от 18 до 33 лет, обладающие нормальной слуховой чувствительностью обоих ушей и нормальными тимпанограммами [18-20].

Экспериментальное исследование было направлено на определение оптимального отношения сигнал/шум с точки зрения возможности обнаружения и реагирования для двух типов сигналов заднего хода (тонального и широкополосного) в условиях двенадцати видов фонового шума. Фоновые шумы транслировались участникам эксперимента в звукоизолированной кабине при уровне 80 дБА с помощью шести динамиков. Одновременно сигнал заднего хода подавался

через динамик, установленный сзади на расстоянии 1 м от участника.

При измерении порога обнаружения каждый участник эксперимента должен был отрегулировать уровень предупредительного сигнала до достижения порогового значения, то есть, до состояния, когда тот становился едва различимым. От начального надпорогового уровня (80 дБА) громкость сигнала снижалась с шагом 2 дБ до подпороговых уровней, а затем увеличивалась до достижения порога обнаружения.

Аналогичная процедура была проведена при измерении порога реагирования. Начальный уровень сигнала заднего хода был ниже (65 дБА). Задача участников состояла в том, чтобы отрегулировать его до уровня, при котором они чувствовали необходимость среагировать на звук, то есть, повернуться в сторону транспортного средства или покинуть опасную зону (зону, соответствующую траектории приближающегося автомобиля).

На рисунке 2 показаны средние для всех участников эксперимента пороги обнаружения, выраженные в отношении сигнал/шум (в дБ), для каждого из двенадцати видов фонового шума. Для всех шумов средний порог обнаружения варьируется от -12,8 до -24,9 дБ



(среднее значение составляет -16,9 дБ) для тонального сигнала и от -10,5 до -21,5 дБ (в среднем -14,3 дБ) для широкополосного. Результаты позволяют констатиро-

вать, что сигналы заднего хода являются слышимыми при громкостях, значительно более низких, чем уровень фонового шума.

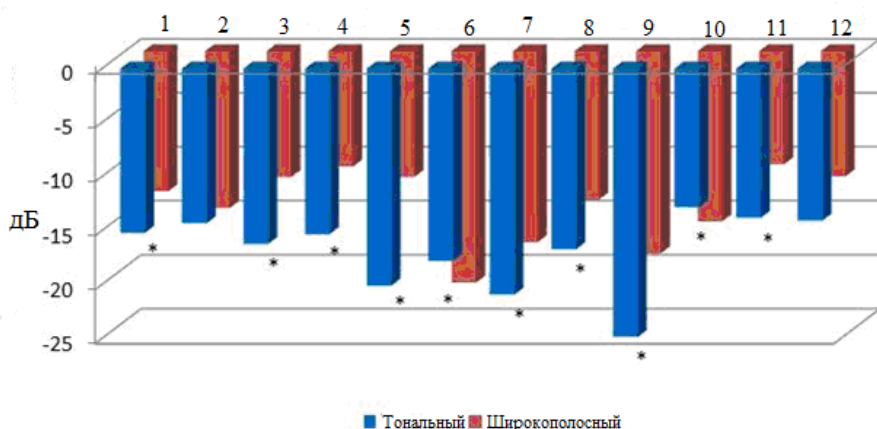


Рисунок 2 – Средние значения порогов обнаружения (в отношении сигнал/шум) для тонального и широкополосного сигналов заднего хода в присутствии различных типов фонового шума:

1 - известняковый карьер; 2 – меловой карьер; 3 – лесопилка 1; 4 – лесопилка 2; 5- дрель; 6 – бульдозер; 7 – долото; 8 – промышленный нож; 9 – клепальный пресс; 10 – автодорога; 11 – строительная площадка; 12 – городская среда (звездочкой (\*) отмечены случаи, когда различия между отношениями сигнал/шум для тонального и широкополосного сигналов статистически значимы)

На рисунке 3 представлены результаты определения средних порогов реагирования (в отношении сигнал/шум). Для всех типов фонового шума средний порог реагирования варьируется от -0,4 до -4,2 дБ (среднее значение равно -1,7 дБ) для тонального сиг-

нала и от -0,6 до -4,3 дБ (среднее значение составило -2,3 дБ) для широкополосной сигнализации. Таким образом, сигнализация заднего хода вызывает реакцию при громкости, немного меньшей, чем фоновый шум.

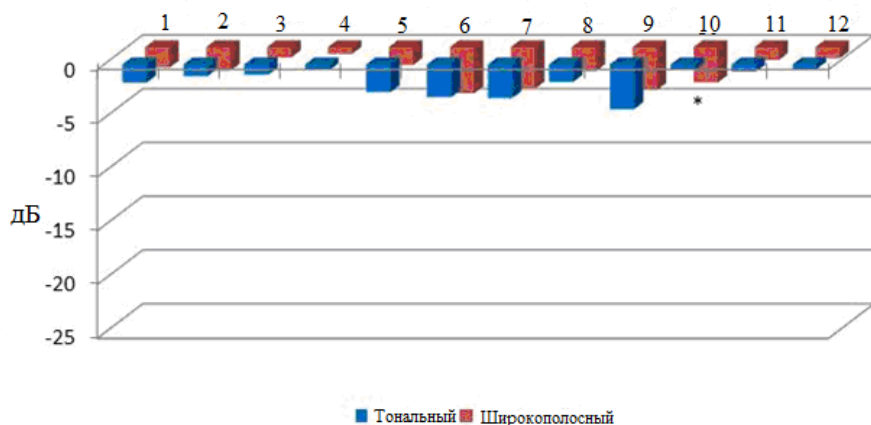


Рисунок 3 – Средние значения порогов реагирования (в отношении сигнал/шум) для тонального и широкополосного сигналов заднего хода в присутствии различных типов фонового шума:

1 - известняковый карьер; 2 – меловой карьер; 3 – лесопилка 1; 4 – лесопилка 2; 5- дрель; 6 – бульдозер; 7 – долото; 8 – промышленный нож; 9 – клепальный пресс; 10 – автодорога; 11 – строительная площадка; 12 – городская среда (звездочкой (\*) отмечен случай, когда различие между отношениями сигнал/шум для тонального и широкополосного сигналов статистически значимо)

**Заключение.** Исследования показали, что пороги обнаружения сигналов заднего хода могут зависеть от спектральных и временных характеристик окружающего шума, при этом пороги реагирования менее чувствительны к указанным факторам.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что значение отношения сигнал/шум (разница между громкостью сигнала заднего хода и уровнем окружающего шума) равное 0 дБ будет оптимальным для того, чтобы рабочие могли легко различать предупрежда-

ющие сигналы и реагировать на них. Это значение позволяет настраивать сигнализацию заднего хода на уровне громкости, намного более низкие, чем это принято на многих рабочих местах, и, таким образом, ограничить вредное воздействие на окружающую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дмитриев М.С. Улучшение условий и охраны труда операторов зерноуборочных комбайнов за счет совершенствования механизмов регулирования рабочих органов

[Текст]. Дис. ...канд. техн. наук. – Челябинск, 2004. – 230 с.

2. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Старунова И.Н. Повышение эффективности транспортно-технологических процессов и улучшение условий труда работников АПК за счет инженерно-технических устройств [Текст] : монография / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, И. Н. Старунова. – Челябинск: ЧГАА., 2010. – 291 с.

3. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Сушко Б.А. Оценка уровня безопасности труда операторов мобильных технологических и транспортных машин сельскохозяйственного назначения [Текст] / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, Б. А. Сушко // Вестник науки Костанайского социально-технического университета. Материалы международной науч. – практ. конференции «Алдамжарские чтения» – Алдамжар, 2008 – С. 74–80.

4. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Потемкина Д.В. Улучшение условий труда и повышение безопасности водителей автомобилей сельскохозяйственного назначения [Текст] / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, Д. В. Потемкина // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – М., 2006 - №9 – С. 17–20.

5. Wilkins, P. A, Martin, A. M. The effects of hearing protectors on the perception of warning and indicator sounds: A general review. Southampton: University of Southampton, 1978.

6. Alali, K. A., Casali, J. G. (2011). The challenge of localizing vehicle backup alarms: Effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup alarm spectral content. *Noise and Health*, 13(51), 99. doi: 10.4103/1463-1741.77202.

7. Alali, K., Casali, J. G. (2012). Auditory backup alarms: distance-at-first-detection via in-situ experimentation on alarm design and hearing protection effects. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41(supplement 1), 3599–3607.

8. Casali, J. G., Robinson, G. S., Dabney, E. C., Gauger, D. (2004). Effect of electronic ANR and conventional hearing protectors on vehicle backup alarm detection in noise. *Human Factors*, 46(1), 1-10.

9. Catchpole, K., Mckeown, D. (2007). A framework for the design of ambulance sirens. *Ergonomics*, 50(8), 1287-1301. doi:10.1080/00140130701318780.

10. CSA. (2014). *Protecteurs auditifs : performances, sélection, entretien et utilisation. Norme CSAZ94.2-14*. Ottawa, ON : CSA. Commission de la santé et de la sécurité du travail. (2011). *Revue de presse : le vendredi 9 septembre 2011*. Montréal, QC : CSST.

11. Giguère, C., Laroche, C., Osman, A., Zheng, Y. (2008). Optimal installation of audible warning systems in the noisy workplace. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) (Mashantucket, CT. p. 197-204).

12. Homer, J. P. (2008). Audible warning devices used in the mining industry. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*. Dearborn, MI (p. 678-688).

13. Lancaster, J. A., Alali, K., Casali, J. G. (2007). Interaction of vehicle speed and auditory detection of backup alarms AKA: Can the construction worker get out of the way? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(20), 1421-1424. doi: 10.1177/154193120705102010.

14. Laroche, C., Ross, M.-J., Lefebvre, L., Larocque, R. (1995). Détermination des caractéristiques optimales des alarmes de recul. (Rapport no R-117). Montréal, QC: IRSST.

15. Lovejoy, S. M. (2008). Determination of backup alarm masked threshold in construction noise (Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA).

16. May, K. R., Walker, B. N. (2017). The effects of distractor sounds presented through bone conduction headphones on the localization of critical environmental sounds. *Applied Ergonomics*, 61, 144-158. doi:10.1016/j.apergo.2017.01.009.

17. McKinley, R. L. (2000). Communication and localization with hearing protectors. *Damage Risk from Impulse Noise*, Aberdeen, MD.

18. Цой Д.Д., Хилько Е.А., Арутюнян Т.В. и др. Изучение частоты слияния и верхнего порога слышимости методом аудиометрии [Текст] / Д.Д. Цой, Е.А. Хилько, Т.В. Арутюнян и др. // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии. Материалы V Всероссийской научной конференции. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2015, Изд-во: Прондо. – С. 203–206.

19. Бобошко М.Ю., Бердникова И.П. и др. Психоакусти-

ческие методы в диагностике центральных нарушений слуха при сенсоневральной тугоухости [Текст] / М.Ю. Бобошко, И.П. Бердникова и др. // Российская отоларингология. – С-Пб., 2017 - №2 (87) – С. 9–6.

20. Глинов Д.В. Аудиометрические методы диагностики состояния слухового анализатора [Текст] / Д.В. Глинов, Д.П. Юсупов, Л.Ф. Добро // Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах: труды X Всерос. науч. конф. молодых ученых и студентов: в 2 т. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2013. – Т.1.- С. 36-38.

*Статья поступила в редакцию 18.05.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 004.832

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0035

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

© 2021

**Андреев Андрей Викторович**, кандидат военных наук, директор Высшей школы техносферной безопасности  
**Доронин Александр Сергеевич**, аспирант, ассистент Высшей школы техносферной безопасности  
*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*  
(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,  
e-mails: [adnreev\\_av@spbstu.ru](mailto:adnreev_av@spbstu.ru), [doronin\\_as@spbstu.ru](mailto:doronin_as@spbstu.ru))

**Аннотация.** Системы пожарной сигнализации являются одним из важнейших технических элементов обеспечения пожарной безопасности. В свою очередь в мировой практике нормативно закреплено требование обеспечения пожарной безопасности не только как важнейшей задачи государства, но и обязанность каждого руководителя, отвечающего за конкретный объект. В Российской Федерации законодательно определено понятие «объект защиты», при этом нормативно установлены меры по обеспечению пожарной безопасности на каждом объекте защиты. Исходя из этих требований практически на все объектах защиты должны быть оборудованы системами пожарной сигнализации. Как любая техническая система защиты, система пожарной сигнализации характеризуется понятиями «надежность» и «живучесть». Под надежностью понимают: достоверное обнаружение возгорания на начальной стадии развития пожара, а также отсутствие ложных срабатываний. Применительно к системам пожарной сигнализации количество ложных срабатываний в установленный период является весьма актуальным, поскольку снижает доверие к эксплуатации систем. Второй причиной является нанесение ущерба в результате срабатывания систем пожаротушения, в ряде случаев весьма существенного. Таким образом проблема снижения количества ложных срабатываний является актуальной. В настоящее время наибольшее распространение получили системы пожарной сигнализации, работа которой построена на логике нахождения датчиков сигнализации в двух состояниях: «норма» и «пожар». Пожарная сигнализация срабатывает если контролируемый параметр настроенного датчика превышает порог срабатывания. Таким образом возникает проблема установки корректного значения порога срабатывания. Одним из подходов решения данной проблемы, является создание дополнительного, верифицирующего, канала контроля. В данной статье рассматривается вариант использования видеокамер и сверточных нейронных сетей в качестве дополнительного канала получающего информацию о состоянии объекта.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, нейронные сети, системы пожарной сигнализации, пожар, сверточные нейронные сети (CNN), надежность.

## PROSPECTS FOR USING NEURAL NETWORKS TO INCREASE THE RELIABILITY OF FIRE SAFETY SYSTEMS

© 2021

**Andreev Andrey Viktorovich**, candidate of military sciences,  
director of the Higher School of Technosphere Security

**Doronin Alexander Sergeevich**, postgraduate student, assistant of the Higher School of Technosphere Safety  
*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29, e-mails: [adnreev\\_av@spbstu.ru](mailto:adnreev_av@spbstu.ru), [doronin\\_as@spbstu.ru](mailto:doronin_as@spbstu.ru))

**Abstract.** Fire alarm systems are one of the most important elements of technical support for fire safety. In turn, the world practice prescribes the fulfillment of the state fire safety requirements. In the Russian Federation, the concept of "object of protection" is legally defined. Based on these requirements, almost all objects of protection must have a fire alarm system. Like any technical protection system, the fire alarm system exhibits the concepts of "reliability" and "survivability". Reliability is understood as: reliable detection of a fire at the initial stage of fire development, as well as the absence of false alarms. With regard to fire alarm systems, the number of false alarms in a specified period is very relevant, since it reduces the confidence in the operation of the systems. The second reason is damage caused by fire extinguishing systems. Thus, the problem of reducing the number of false positives is urgent. Currently, the most widespread are fire alarm systems, the operation of which is based on the logic of finding alarm sensors in two states: "normal" and "fire". The fire alarm is triggered if the monitored parameter of the configured sensor exceeds the response threshold. Therefore, the problem arises of setting the correct threshold value. One of the approaches to solving this problem is to create an additional, verifying, control channel. This article discusses the use of video cameras and convolutional neural networks as an additional channel for receiving information about the state of an object.

**Keywords:** fire safety, neural networks, fire alarm systems, fire, convolutional neural networks (CNN), reliability.

**Введение.** В настоящее время одной из актуальных задач является обеспечение пожарной безопасности, по данным МЧС количество пожаров с начала 2021

года увеличилось на 13% [12]. Эффективное решение данной задачи невозможно без оснащения объектов современными системами пожарной защиты. Нормы

тивно требованиями пожарной безопасности установлено, что система пожарной сигнализации при пожаре должна включаться автоматически, от управляющего сигнала [11]. Современные системы пожарной сигнализации являются достаточно сложными техническими устройствами, для которых неизбежны различные сбои в работе. Исследование проблем корректной работы данных технических устройств, позволяет определять пути проектирования новых, конструктивного улучшения существующих, совершенствования их логики и алгоритмов работы.

**Целью** работы является поиск технических решений, позволяющих повысить надежность работы систем пожарной сигнализации (СПС), а именно уменьшить количество ложных срабатываний. Актуальность исследования объясняется тревожной тенденцией в области пожарной безопасности, подтверждаемой статистическими данными за 2019 – 2020 годы.

В статье исследуются возможные состояния СПС «норма – пожар» применительно к состоянию объекта защиты «нет пожара – есть пожар», рассматривается переход системы из одного состояния в другое как случайное событие. Исходя из стохастического характера работы системы предлагается для решения задачи снижения количества ложных срабатываний, использовать дополнительный верифицированный канал.

**Материалы и результаты исследования.** В практике описания структуры систем пожарной сигнализации (СПС) используют термины «надежность» и «живучесть». Под надежностью понимают: обнаружение возгорания СПС с вероятностью, не ниже заданной при возникновении пожара, а также отсутствие ложных срабатываний СПС, т.е. выработкой системой управляющего сигнала при отсутствии пожара. Под живучестью понимают способность СПС функционировать с заданными параметрами, в течение промежутка времени, который необходим для обеспечения безопасности, находящихся на объекте защиты людей, проведения требуемых мероприятий для сохранности материальных средств. Надежность СПС определяется комплексом различных факторов, при этом если современные технологии позволяют реализовать требуемую вероятность обнаружения возгорания на начальном этапе, то снижение вероятности ложных тревог до заданного уровня не всегда реализуемо. Это обусловлено комплексом причин, прежде всего высокой чувствительностью приемного тракта на воздействия различного характера. Актуальность проблемы подтверждается следующими данными по Челябинской области, в 2019 году пожарно-спасательные подразделения более 8 тысяч раз выезжали на ложные срабатывания СПС, установленной в социальных учреждениях и зданиях общественного назначения.

Анализ, сделанный на основании данных, из открытых источников показывает, что причины ложных срабатываний СПС могут быть сведены в четыре условные группы:

– первая группа связана с причинами человеческого фактора (ошибки обслуживающего персонала – 4%, непреднамеренное нарушение изоляции кабельных магистралей – 3%);

– вторая группа связана с влиянием помех природного и искусственного характера, (нахождение посторонних предметов – 4%, потоки воздуха, вызванные работой вентиляции – 4%, электромагнитные наводки в кабельных линиях – 1%, превышение установленных температурных значений – 2%, «паразитные» наводки в контурах заземления – 1%, накопление пыли на электрических платах, наэлектризованность и движение пыли – 12%);

– третья группа связана с влиянием внешней среды (окисление контактов электрических соединений – 5%, выпадение конденсата на электрических платах в условиях высокой влажности – 22%);

– четвертая группа связана долей элементов СПС подверженных техническим отказам (отказ пожарных извещателей – 37%, отказ контрольных приборов – 5%, отказы блоков питания – 1%) [1].

В настоящее время наибольшее распространение получила СПС, работа которой построена на логике нахождения извещателей сигнализации в одном из двух состояний: «норма» и «пожар». Пожарная сигнализация вырабатывает управляющий сигнал если контролируемый параметр (параметры) настроенного извещателя (извещателей) превышают порог срабатывания  $Y$ . Большинство современных СПС используют для выработки оконечного управляющего сигнала данные с извещателей, принцип срабатывания которых основан на различных технологиях, тепловые, газовые и другие. Как правило логика работы СПС построена по схеме «И», т.е. оконечный управляющий сигнал вырабатывается при срабатывании определенного количества извещателей различных типов. Например, применительно к газовому пожарному извещателю порог срабатывания определяют по относительному изменению тока контрольной ионизационной камеры (относительная единица), рассчитываемому по формуле:

$$Y = I_0 I^{-1} - II_0^{-1},$$

где  $I_0$  – ток контрольной ионизационной камеры в чистом воздухе, А;

$I$  – ток контрольной ионизационной камеры при наличии в воздухе аэрозоля, А [2].

Как правило порог срабатывания  $Y$  устанавливается в пределах от 0,2 до 3,0 условных единиц измерения.

Рассмотрение в комплексе бинарных состояний объекта защиты ( $\lambda$  «отсутствие пожара» – «пожар») и системы сигнализации ( $Y$  «норма» – «пожар») позволяет установить четыре возможных комбинаторных состояния СПС, применительно к состоянию объекта:

– система не сработала, при отсутствии пожара на объекте – исходное состояние системы;

– система не сработала в условиях пожара на объекте – пропуск пожара системой;

– система сработала, при отсутствии пожара на



объекте – ложное срабатывание системы;  
 – система сработала, в условиях пожара на объекте  
 – правильное обнаружение пожара системой.

Учитывая, что срабатывание СПС применительно к состоянию объекта является событием случайным, возможные состояния системы «СПС – объект защиты» стохастическими характеристиками – вероятностями, значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – состояния системы СПС – объект защиты

	пожар ( $\lambda$ )	0	1
срабатывание ( $Y$ )			
0		система в исходном состоянии $P_0$	пропуск $P_n$
1		ложное срабатывание $P_{лс}$	правильное обнаружение $P_{обн}$

Попарно события, характеризующие состояние системы, составляют полную группу событий, вероятности:  $P_0 + P_{лс} = 1$  и  $P_n + P_{обн} = 1$

Соответственно вероятности правильного срабатывания и ложного срабатывания могут быть описаны выражениями:

$$P_{обн} = P\{Y = 1 | \lambda = 1\} = \text{Detection}$$

$$P_{лс} = P\{Y = 1 | \lambda = 0\} = \text{False}$$

Графическое представление распределений вероятности состояний, в которых находится система пожарной сигнализации: «правильное срабатывание» и «ложное срабатывание» представлены на рисунке 1. Из графика следует, что увеличение значения порога  $Y$  ведет к уменьшению вероятности ложной тревоги, однако при этом увеличивается вероятность несрабатывания сигнализации при пожаре на объекте. Таким образом возникает проблема установки корректного значения порога срабатывания. Одним из подходов решения данной проблемы, является создание дополнительного, верифицирующего, канала контроля, что графически поясняется уменьшением дисперсии распределений, характеризующих вероятности «правильного» и «ложного» срабатываний.

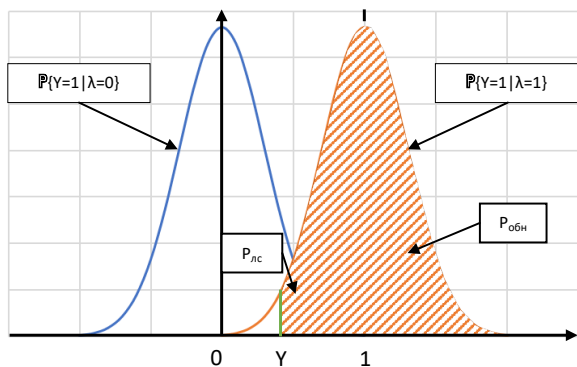


Рисунок 1 - Графическое представление распределений вероятности состояний

В СПС, в качестве линий связи между устройствами может выступать проводная, радио, оптическая линия, кроссируемая вне корпусов технических средств

различного назначения, обеспечивающая взаимодействие и обмен информацией между компонентами системы пожарной автоматики и другими системами, исполнительными устройствами и их электропитанием, минимизирующая помехи и наводки электромагнитного происхождения [3]. При управлении автоматическими установками пожаротушения линии связи должны обеспечивать требуемую достоверность передачи данных, в аналоговой либо цифровой форме [4, 9-10].

При монтаже СПС запрещена совместная прокладка шлейфов пожарной сигнализации и соединительных линий систем пожарной автоматики с напряжением до 60 В с линиями напряжением 110 В и более в одном коробе, трубе, жгуте, замкнутом канале строительной конструкции или на одном лотке. Данное требование позволяет уменьшить влияние помех создаваемые другими проводниками. Современные радиоканальные СПС работают на двух диапазонах частот 146-174 МГц и 403-470 МГц. Диапазон частот порядка 160 МГц выделен для работы одноканальных и многоканальных устройств радиорелейной связи. Для одноканальных радиорелейных станций выделено два поддиапазона радиочастот: 150,0625-150,4875 и 165,0625-165,4875 МГц. Диапазон частот порядка 450 МГц является наиболее загруженным различными радиоэлектронными средствами. В нем допускается работа: сотовых сетей *IMT-MS-450* (453-457,4 МГц и 463-467,4 МГц), обмен радиолучителями (430-440 МГц), технологические сети связи (458,45 - 460 МГц и 468,45 - 469 МГц)[5]. Таким образом, для уменьшения частотности ложных срабатываний необходимо выбрать верифицирующий канал, не зависящий от природы электромагнитного излучения.

В данной статье рассматривается вариант использования в качестве дополнительного канала получающим исходную информацию о состоянии объекта в оптическом диапазоне. По исполнению окончательного устройства, принцип работы канала может быть следующим: постоянный мониторинг оператором состояния объекта через камеры наблюдения, либо использование технических устройств. Первый вариант является традиционно реализуемым, однако учет «человеческого фактора» при обеспечении пожарной безопасности является сложно формализуемой задачей. Предлагается рассмотреть возможность использования в качестве окончательного – технического устройства реализующего принципы нейронных сетей (НС).

Под НС понимается математическая модель в виде программного и аппаратного решения, аналогичная функционированию биологических нейросетей. В настоящее время НС для обретают все большую популярность в разных сферах жизнедеятельности человека, ключевыми особенностями является самообучение и распараллеливание обработки информации. Под термином самообучение понимается способность получать обоснованный результат на основании данных, которые не встречались в процессе обучения. Эти свойства позволяют нейронным сетям решать

сложные (масштабные) задачи, которые на сегодняшний день считаются трудноразрешимыми, например анализ большого количества данных. Достоинства нейронных сетей перед традиционными вычислительными системами: потенциальное высокое быстродействие; адаптивное к изменениям окружающей среды; отказоустойчивость; устойчивость к шумам входных данных; решение задач при неизвестных закономерностях. Однако нейронным сетям присущ и ряд недостатков: вероятностный ответ, многоэтапная процедура принятия решения, сложности при решении вычислительных задач. Однако несмотря на перечисленные недостатки НС является эффективным инструментом для решения большого количества задач, таких как компьютерное зрение, прогнозирование поведения котировок и т.п.

В настоящее время достаточно полно проработана теория применения НС с целью обнаружения вторжений в компьютерные сети, в частности для защиты от DDoS атак. В открытом доступе не обнаружено информации о применении НС для решения задачи повышения надежности работы СПС [6-8]. Искусственный интеллект нашел свое применение в медицине (медицинская диагностика, расшифровка магниторезонансная томография и т.п.), прогнозе тенденций рынка как потребительского, так биржевого, проектирование и оптимизации информационно-телекоммуникационных сетей, управление дорожно-транспортным потоком, распознавание текста, поисковых системах и голосовых помощниках, беспилотных автомобилях и т.д..

Предлагается следующая последовательность принятия решения уполномоченным лицом на выезд пожарно-спасательного подразделения на объект. Верифицированный канал создается на базе системы наружного наблюдения, с учетом установки видеокамер на объекте относительно датчиков СПС их количества и разрешающей способности. Сигналы от видеокамер подходят к оконечному устройству, исполненному по логике работы НС для распознавания изображений. Для того что бы распознать объект нейросеть должна быть обучаемой, с учетом измерения качества распознавания. С учетом инвариантности к различным искажениям изображений НС, целесообразно использовать свёрточные НС, построенные по архитектуре: локальное восприятие, разделяемые веса, субдискретизация. В настоящее время существует достаточное количество стандартных архитектур для построения свёрточных НС, что упрощает задачу построения НС, подходящей для конкретной задачи. Полученный результирующий сигнал НС может быть откалиброван с целью минимизации ошибок обучения и достижения необходимой функциональности обработки сигналов. Сигнал поступающий по дополнительному каналу на пульт СПС, позволяет оператору принимать целесообразное решение о выезде пожарной команды на объект.

**Заключение.** Предлагаемый подход к решению проблемы снижения частотности ложного срабатывания СПС путем создания дополнительного верифици-

рующего канала достаточно широко распространен в КНР. В качестве источника информации о состоянии объекта защиты в оптическом диапазоне используются элементы системы видеонаблюдения установленные на объекте защиты. При поступлении сигнала о срабатывании СПС на пульт оператор подключает к монитору видеокамеры, направленные к месту предполагаемого пожара, дальнейшие действия зависят от решения, принятого оператором. Принципиальное отличие в подходе, предлагаемом в данной работе, является снижение влияние человеческого фактора путем внедрения нейросетевых технологий в системы пожарной защиты. Использование нейросетей, как аналогов функций человеческого интеллекта в технические устройства противопожарной защиты дает возможность качественно изменить принципы противопожарной безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. У. Р. Д. Г. МОСКВЫ, «Из-за чего пожарная сигнализация срабатывает ложно?», 26 08 2019. [В Интернете]. Available: [https://donskoy.mos.ru/safety-and-security/2\\_ronde\\_management\\_in\\_south\\_administrative\\_district\\_of\\_emercom\\_in\\_moscow/detail/8306213.html](https://donskoy.mos.ru/safety-and-security/2_ronde_management_in_south_administrative_district_of_emercom_in_moscow/detail/8306213.html). [Дата обращения: 28 03 2021].
2. «ГОСТ Р 53325-2009 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики» 01 01 2010. [В Интернете]. Available: <https://docs.cntd.ru/document/1200071928>. [Дата обращения: 10 04 2021].
3. «Приказ МЧС России от 31.07.2020 N 582 "Об утверждении свода правил "Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования",» 31 07 2020. [В Интернете]. Available: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mchs-rossii-ot-31072020-n-582-ob-utverzhenii/>. [Дата обращения: 16 04 2021].
4. «СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с Изменением N 1),» 01 05 2009. [В Интернете]. Available: <https://docs.cntd.ru/document/1200071148>. [Дата обращения: 16 04 2021].
5. Особенности частотного обеспечения, проектирование и строительства радиорелейных систем связи. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А., Хворов И.А.. Издательство: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Available: <https://e.lanbook.com/book/70983>. [Дата обращения: 16 04 2021].
6. Доронин, А. С. Моделирование влияния информационной безопасности на объекте опасной инфраструктуры / А. С. Доронин // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–23 ноября 2019 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 199-201.
7. Доронин, А. С. Усовершенствование математической модели угроз безопасности информации в информационной системе / А. С. Доронин, А. В. Андреев // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 19–24 ноября 2018 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – С. 104-107.
8. Boltynkova, E. Development of measures to ensure information security in structural division of the university / E. Boltynkova, A. Andreev, A. Doronin // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, E3S 2019, Saint-Petersburg, 19–20 ноября 2019 года. – Saint-Petersburg: EDP Sciences, 2019. – P. 08005. – DOI 10.1051/e3sconf/201914008005.
9. Андреев, А. В. Исследование эффективности применения дренчерного распылителя низкого давления с тонкораспыленной водой / А. В. Андреев, С. В. Сычев, М. О. Лепеш-

кин // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2017. – № 4(42). – С. 10-14.

10. Оценка техногенного риска для линейных и площадочных объектов нефтегазодобывающего комплекса / А. П. Бызов, А. В. Андреев, О. Е. Ковязина, М. Т. Пелех // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2019. – № 2(50). – С. 98-104.

11. Закон Российской Федерации “СП 3.13130.2009. Системы пожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности.” от 25.03.2009

12. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации. URL: [https://74.mchs.gov.ru/uploads/resource/2020-05-28/statisticheskie-dannye\\_15906632521525482342.pdf](https://74.mchs.gov.ru/uploads/resource/2020-05-28/statisticheskie-dannye_15906632521525482342.pdf). [Дата обращения: 20.04.2021]

*Статья поступила в редакцию 21.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 331.158:658.345

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0036

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» НА ПРИМЕРЕ СЕЯЛКИ СЗС-2.1 ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

© 2021

**Попова Анна Георгиевна**, кандидат технических наук, доцент**Запорощенко Елена Витальевна**, кандидат технических наук, доцент*Филиал Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил**Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина**(454015, Россия, г. Челябинск, ул. Городок 11, д. 1, e-mails: krasata79@mail.ru, pelvi@rambler.ru)*

**Аннотация.** В статье рассматривается одна из ведущих отраслей сельского хозяйства – растениеводство. Выделены источники травматизма в этой области и описано, чем определяется совершенство конструкции. Представлен один из методов определения критерия риска – идентификатор. Выделены этапы жизненного цикла машины, во время которых есть вероятность возникновения опасных событий. Приведены в целом все причины травматизма в агропромышленном комплексе и в связи с этим решение поставленных задач в этой сфере. Приводится распределение несчастных случаев в агропромышленном производстве. Рассматривается схема принципов идентификации опасностей. Представлен алгоритм расчета степени риска подсистемы «Машина», что позволяет определить элементы риска и метод расчета риска в полном объеме системы «Человек-Машина». Сделан вывод, что риск можно воспринимать как функцию времени. Предложено оптимальное сочетание технологических регулировок и технических операций детально для сеялки СЗС-2.1, базируясь на ранее проведенных расчетах и исследованиях, для минимальной вероятности появления опасного события.

**Ключевые слова:** идентификация, машина, оператор, отказ, риск, оценка, безопасность.

**IDENTIFICATION OF RISKS OF THE "MAN-MACHINE" SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE SZS-2.1 SEEDER WHEN ASSESSING THE SAFETY OF AGRICULTURAL MACHINERY**

© 2021

**Popova Anna Georgievna**, candidate of technical sciences, associate professor**Zaporoshchenko Elena Vitalievna**, candidate of technical sciences, associate professor*Branch of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force**Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin**(454015, Russia, Chelyabinsk, Gorodok street, 11, building 1, e-mails: krasata79@mail.ru, pelvi@rambler.ru)*

**Abstract.** The article deals with one of the leading branches of agriculture – crop production. The sources of injuries in this area are identified and described, which determines the perfection of the design. One of the methods for determining the risk criterion – the identifier-is presented. The stages of the life cycle of the machine, during which there is a probability of occurrence of dangerous events, are highlighted. In general, all the causes of injuries in the agro-industrial complex and, in this regard, the solution of the tasks set in this area are given. The distribution of accidents in agro-industrial production is given. The scheme of the principles of hazard identification is considered. The algorithm for calculating the degree of risk of the "Machine" subsystem is presented, which allows us to determine the risk elements and the method for calculating the risk in the full scope of the "Man-Machine" system. The optimal combination of technological adjustments and technical operations in detail for the SZS-2.1 seeder is proposed, based on previously performed calculations and studies, for the minimum probability of a dangerous event.

**Keywords:** identification, machine, operator, failure, risk, assessment, safety.

**Введение.** В сельском хозяйстве одной из опасных отраслей является растениеводство. На него приходится наибольшее количество несчастных случаев. Самоходные сельскохозяйственные машины в растениеводстве в основном представляют собой источник летального травматизма. Это чаще всего травмы при эксплуатации сельскохозяйственной техники. Минимизировать эти опасности возможно лишь путем безукоризненного соблюдения техники безопасности и поддержания машин и оборудования в состоянии исправности [1].

Работа операторов колесных машин сопряжена и с опасными факторами, воздействие которых на человека зависит от конструкции и технического состояния машины. Все «машины», которые эксплуатируются, помимо исполнения основных требований к техноло-

гическому процессу конкретной машины, должны гарантировать безопасность труда, в сфере их назначения, при работающей системе оператор-машина-среда [14]. По данным исследований, степень совершенства конструкции «машина» оценивается уровнем травмирования оператора, работающего с ней после ее изготовления или ремонта. Для объективной оценки уровня безопасности мобильной сельскохозяйственной техники можно воспользоваться идентификацией рисков системы «Человек-Машина». Так как машина является элементом системы «Человек-Машина-Среда». Безопасность функционирования этой системы зависит от каждого ее элемента. Одной из основных характеристик машины является ее состояние. Есть три стадии состояния машины: первая стадия – новая; вторая стадия – небольшой износ; третья стадия – не



подлежит эксплуатации. Иными словами, есть необходимость в расчетах критерий рисков, для избежания отказов подсистемы «Машина».

**Целью** работы является определение идентификацию рисков системы «Человек-Машина» Для оценивания безопасности сельскохозяйственной техники

**Материалы и результаты исследования.** Идентификация является одним из ведущих методов определения критерия риска.

Важным этапом оценки риска или вероятности наступления опасного события любой машины, который осуществляется после определения пределов ее эксплуатации, является систематическая идентификация прогнозируемых опасностей и опасных событий, которые могут иметь место в течение всего жизненного цикла машины, в том числе во время [2]:

- а) транспортировки, сборки и монтажа;
- б) ввода в эксплуатацию;
- в) этапа эксплуатации;
- г) вывода из эксплуатации, демонтажа и утилизации.

Предполагается, что связанная с машиной опасность рано или поздно приведет к нанесению вреда, если ее не устранить или не предпринять требуемые меры безопасности.

Изучая существующие исследования, можно отметить, что изменение конструкции и применение дополнительных механизмов в подсистеме «Машина» – самые применяемые методы для увеличения безопасности системы, при этом, практически не затрагивая область безопасности технологических и управленческих регулировок. Но очевидно, что при снижении числа технологических операций, а также возможности их автоматизации, и, как следствие, увеличении производительности механизированных работ, имеющееся травмирование в этой области можно уменьшить, тем самым повышая уровень безопасности работы оператора, за счет снижения количества регулировок.

В основном причинами травматизма являются чаще всего неудовлетворительная организация производства работ, а так же устаревшая техника, низкая эксплуатационная надежность, несвоевременные ремонты и плановые технические обслуживания, нехватка квалифицированных кадров по ремонту и эксплуатации, несоблюдение сотрудниками трудовой дисциплины и требований безопасности, эксплуатация неисправных машин, механизмов и оборудования. Также причинами травматизма и гибели операторов сельскохозяйственной техники является возгорание этой техники, временных помещений и сооружений, устанавливаемых для отдыха людей и других целей (хранения продуктов, материалов, запасных частей и т.д.) Особенностью сельскохозяйственного травматизма является сезонность, несвоевременное оказание медицинской помощи, большое количество микротравм [3].

Снижение процента травматизма операторов, в среднем и до 30%, безусловно, возможно за счет мо-

дернизации конструктивных параметров на этапе проектирования новой или усовершенствованной машины.

Однако, приобретение современной техники несет за собой немалые экономические вложения и не всегда есть такая возможность. Поэтому достичь повышения безопасности для уже эксплуатируемой сельскохозяйственной техники важная задача, которую можно решить за счет увеличения эксплуатационной надежности функционирования оборудования, механизмов и систем, тем самым повлияв на надежность машины и безопасность оператора.

Необходимая технологическая безопасность закладывается при решении следующих задач:

- внедрение спроектированных усовершенствованных моделей сельскохозяйственных машин;
- разработка и воплощение инженерных решений, для повышения безопасности эксплуатируемой техники;
- систематизированное обучение и инструктирование операторов мобильных сельскохозяйственных машин.

Математическое моделирование и экспериментальные исследования являются основными методическими этапами в исследовании для процесса формирования технической и технологической безопасности машины.

Надлежащим образом выполненный количественный расчет можно использовать для достаточно комплексного анализа и получения четкой картины развития опасной ситуации до нанесения вреда. Благодаря этому удастся выработать большее количество предложений по снижению риска, выбрать защитные меры исходя из понимания механизмов возникновения вреда.

Различные специалисты участвуют при выявлении и составлении критериев безопасности мобильных сельскохозяйственных машин, опираясь на исследования, наблюдения, отслеживание влияния факторов опасности на безопасность оператора.

Распределение несчастных случаев в агропромышленном производстве в 2017-2020 г.г. представлено на рисунке 1.

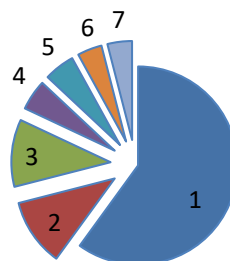


Рисунок 1 - Классификация несчастных случаев агропромышленного производства за 2017-2020 г.г.:  
1 - несовершенство технологических процессов (61 %);  
2 - высокий износ техники и оборудования (10 %);  
3 - нарушение санитарно-гигиенических факторов (11 %);  
4 - некачественная организация производственных работ (5 %);  
5 - отсутствие обучения безопасности труда (5 %);  
6 - неудовлетворительная модернизация предприятий (4 %);  
7 - неудовлетворительная дисциплина труда (4 %).

Нормативные документы, касающиеся машин, оборудования определенного типа или характерных для них опасностей, являются основным материалом для идентификации опасностей и разработке защитных мер.

Идентификация рисков опасностей включает разные этапы, такие как, например, анализ документации, сбор информации, анализ допущений, методы моделирования (исследование на моделях различные процессы и выявление всевозможных рисков), анализ возможностей и опасностей (возможное использование данных предыдущих проектов), составление диаграмм, сравнение списка рисков и категорию рисков, экспертная оценка.

Лишь структурирование идентификации опасностей позволяет углубленно проанализировать все этапы жизненного цикла машины и оборудования, режимы работы и функциональность.

В ГОСТ Р 54124-2010 классифицируются несколько структурированных методов идентификации опасностей, но если рассматривать в общем, то есть два принципа, представленные на рисунке 2, и оперировать нужно одним из двух принципов – нисходящим или восходящим [4, 6].

Нисходящий (сверху вниз) принцип базируется на

определении потенциальных последствий отказов и воздействий, что в будущем послужит базой для определения причин возникновения вреда. Такой принцип предполагает, что выявление опасностей производят на основании перечня опасных событий.

Восходящий (снизу вверх) принцип рассматривает все возможные опасности, последствия ее возникновения и вред, к которому она может привести. Это наиболее комплексный подход, но достаточно время затратное [7].

В ходе оценки риска можно произвести сравнение результатов, полученных для данной машины или их части, с показателями по аналогичным машинам или их частям при выполнении следующих условий [9]:

- аналогичная машина соответствует требованиям действующих стандартов;
- машины аналогичны в отношении использования по назначению, прогнозируемого неправильного применения и конструкции;
- опасности и элементы риска допускают возможность сравнения;
- машины обладают аналогичными техническими характеристиками;
- машины эксплуатируются в аналогичных условиях.



Рисунок 2 – Принципы идентификации опасностей: нисходящий и восходящий

Такое сравнение не исключает необходимости проведения оценки риска для специфических эксплуатационных условий для данной конкретной машины.

По определению двумя главными характеристиками риска являются тяжесть и вероятность нанесения вреда. В ходе расчета степени риска необходимо определить наиболее сильный риск для каждого опасного события. При этом результат расчета степени риска обычно выражают в виде уровня, показателя или балла.

На основе алгоритма расчета степени риска [1] оценка риска подсистемы «Машина» может быть представлена в виде выражения:

$$R = f(P_i; Y_i);$$

$$P_i = \sum_{i=1}^n P_{1i} + P_{2i};$$

$$Y_i = \sum_{i=1}^n Y_{1i} + Y_{2i},$$

тогда

$$R = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot Y_i) \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность критического отказа/воздействия;  $Y$  – последствия критического отказа/воздействия.

Анализируя алгоритм, элементами риска подсистемы «Машина» будут являться: степень тяжести вреда; вероятность нанесения вреда, которая возникает при наступлении опасного события (отказа); ее частота и продолжительность воздействия на оператора.

Таким образом, элементы риска зависят от определенного опасного события (отказа), который изменяется от вероятности появления опасного события. Это [10]:

- частота и продолжительность опасности;
- вероятность наступления критического отказа или воздействия;
- возможность исключения или ограничения опас-

ного события.

В зависимости от различных обстоятельств и элементов, выше перечисленных, риск может меняться, а значит, он подвержен определенной динамике, то есть риск можно воспринимать как функцию времени. Определяя и понимая роль конкретных факторов, которые оказывают влияние на степень риска, получаем доступ к узконаправленному воздействию на них, а значит, и появляется возможность управлять риском, изменяя, таким образом, и контролируя частоту отказов (событий) [11]. Если есть возможность управления риском, то, значит, в известном смысле и в определенной степени, реально управлять опасностью, угрожающей объекту (оператор, машина), который будет соответствовать формуле 1.

В процессе выполнения различных сельскохозяйственных операций источники и факторы опасностей, которые при выполнении технологического процесса сопровождают оператора мобильных сельскохозяйственных машин, при постоянно меняющихся условиях труда, должны рассматриваться в совокупности их воздействия. По этой причине возникает необходимость определения критерия технологической безопасности для оценивания работы оператора.

Значимость и вероятность того или иного отказа, обнаружение отказа могут быть объединены для определения меры критичности. Одним из элементов риска является процедура устранения ошибок, направленная на уменьшение вероятности возникновения ошибок. Поскольку устранить ошибку может быть сложно, цель состоит в том, чтобы сделать объект или процесс более устойчивым к ошибкам человека.

Опасная ситуация возникает, когда один или несколько человек подвергаются опасности или когда отказ машины может быть критическим (может нанести вред). При этом, как показано на рисунке 2, нанесение вреда является следствием опасного события, в том числе критического отказа и (или) критического воздействия. При оценке вероятности нанесения вреда следует рассмотреть все аспекты.

Используя формулу (1) можно добиться обработки отказа, который может подвергнуться к одному или нескольким из следующих действий [15]:

- устранение вида отказа;
- снижение вероятности возникновения вида отказа;
- устранение или уменьшение последствий вида отказа.

Снижение риска является при выполнении следующих условий:

- рассмотрены все режимы работы и все возможные случаи вмешательства в работу машины;
- все источники опасности были исключены, риск снижен до минимально возможного уровня;
- учтены все отказы, возникшие в результате применения защитных мер;
- операторы достаточным образом проинформированы и предупреждены об остаточном риске;
- защитные меры совместимы друг с другом;

– в полной мере учтены возможные последствия, к которым может привести использование машины;

– защитные меры не ухудшают условий работы оператора и не влияют на удобство работы с машиной.

**Заключение.** Основываясь на ранее нами проведенные расчеты и исследования на появление опасного события для сеялки СЗС-2.1 и зная, в каком случае опасное событие может произойти [12, 14], предложено оптимальное сочетание технологических регулировок и технических операций для сеялки для минимальной вероятности появления опасного события, при котором  $0 \leq P(A) \leq 1$ , где  $A$  – показатель, не соответствующий государственному стандарту.

Минимальная вероятность появления опасного события возникает при следующем сочетании: отсутствие технических операций, но количество технологических регулировок может достигать максимального количества по стандарту (от 0 до 10) [13].

Отсюда следует вывод, что при определении риска необходимо, прежде всего, знать частные характеристики возникновения рассматриваемых элементов риска при отказах в подсистеме «Машина», а также предполагаемые размеры его социальных, экономических, технических и экологических последствий.

Поэтому, когда машина поступает в эксплуатацию, можно спрогнозировать безотказность определенных узлов и проанализировать результаты отказов в эксплуатации, которые могут быть использованы для определения риска подсистемы «Человек-Машина».

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости применения системного подхода в вопросах повышения уровня безопасности операторов мобильных машин и разработки критерии риска, который позволил бы объективно оценить риск травмирования оператора при устранении транспортно-технологических отказов в зависимости от ее стадии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дмитриев М.С. Повышение безопасности и улучшение условий труда оператора в транспортно-технологическом процессе сельскохозяйственного производства: автореф. дис. д-ра техн.наук., Санкт-Петербургский гос. аграрный университет, Санкт-Петербург – Пушкин, 2012.
2. Аверьянов Ю.И., Попова А.Г., Гребенщикова О.А., Шаманова Е.В. Оценка профессионального риска при выполнении операции технологического обслуживания. Материалы LIV международной научно-технической конференции «Достижения науки - агропромышленному производству», г. Челябинск, ЧГАА, 2015 г.
3. Попова А.Г. Улучшение условий охраны труда операторов мобильных колесных машин путем совершенствования технологической безопасности системы «Оператор – Машина – Среда». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ВНИИ ОТ, г. Орел, 2006.
4. ГОСТ Р 54124-2010. Безопасность машин и оборудования. Оценка риска.
5. ГОСТ 12.2.111-85. Межгосударственный стандарт. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. 14 стр.
6. Горшков Ю.Г., Попова А.Г. Улучшение условий труда операторов мобильных колесных машин за счет автоматической блокировки простого шестеренчатого дифференциала. Журнал. Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве, 2011 г. № 1 (65), с. 37-40.
7. Аверьянов Ю.И., Глемба К.В., Попова А.Г., Шаманова Е.В. Теоретическое обоснование критерия риска социально-технической системы «Водитель –Авто-

мобиль-Дорога-Среда». Материалы IX всероссийской научно-практической (с международным участием), посвященной памяти профессора, д-ра техн. наук Резника Л.Г. г. Тюмень, ТГНУ, 2016 г. С. 12-18.

8. Попова А.Г. Анализ физиологических основ утомления и его влияния на безопасность трудового процесса сельскохозяйственного назначения. Наука. КИЭУ, Костанай. 2013. – №4. – С. 37-42.

9. Попова А.Г. Улучшение условий охраны труда операторов мобильных колесных машин путем совершенствования технологической безопасности системы «Оператор – Машина – Среда» автореф. дис. к-та техн.наук., ВНИИ ОТ, г. Орел, 2006.

10. Семенов В.А. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие – СПб.: Питер, 2013г.

11. Аверьянов Ю.И., Глемба К.В., Попова А.Г. Критерий риска травмирования операторов при устранении технических отказов на мобильных сельскохозяйственных машинах. Материалы юбилейной XLV Международной научно-технической конференции, Челябинского государственного агроинженерного университета. – Челябинск. – 2006. – Ч. 4. – С. 71-75

12. Аверьянов Ю.И., Попова А.Г., Запорощенко Е.В. Исследование вероятности возникновения опасного события подсистемы «Машина» для оценки безопасности сельскохозяйственной техники. Научный журнал «АПК России», том 26, № 4. Ноябрь, 2019, ЮУрГАУ, г. Челябинск, С. 495-498.

13. Попова А.Г. Возникновение опасных ситуаций. Материалы юбилейной XLV Международной научно-технической конференции, Челябинского государственного агроинженерного университета. – Челябинск. – 2006. – Ч. 4. С. 100-103.

14. Петровская Е.В. Повышение равномерности распределения рабочей жидкости штангового опрыскивателя. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ФГОУ ВПО "ЧГАУ", г. Челябинск, 2006.

15. Аверьянов Ю.И., Попова А.Г., Шаманова Е.В., Гребенщикова О.А. Оценка профессионального риска при выполнении операции технологического обслуживания. Материалы LI международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству», Челябинской государственной агроинженерной академии. – Челябинск. – 2015. – Ч. VIII.

*Статья поступила в редакцию 16.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК: 534.836.2

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0037

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2021

**Каверзнева Татьяна Тимофеевна**, кандидат технических наук, доцент ВШТБ

**Дзюба Никита Павлович**, бакалавр ВШТБ

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,*

*e-mails: kaverztt@mail.ru, dzyuba.np@edu.spbstu.ru)*

**Аннотация.** Для защиты селитебных территорий от шума транспортных потоков в мегаполисах широко используются акустические экраны различной модификации, которые, однако, показывают частичную эффективность по реализации возложенных на них защитных функций. Это можно объяснить различными причинами, например, сложной шумовой картиной, несовершенством шумоизоляции, дороговизной исполнения и другими. В статье проанализированы проблемы, связанные с необходимостью обеспечения эффективности шумозащитных мероприятий в условиях неуклонного роста шумовых нагрузок от транспортных потоков. Показано, что использование транспортных акустических экранов с козырьками, в конструкцию которых включены солнечные батареи, способно обеспечить инвестиционную привлекательность проектов дорожных магистралей за счёт потенциальной прибыли от энергетической составляющей. Для создания концепта сооружения акустической защиты в г. Санкт-Петербурге был выбран участок территории с превышением допустимого уровня шума вблизи крупной автомагистрали и железной дороги, проведены необходимые измерения шума и создана 3D-модель участка магистрали с конструкцией, которая совмещает функции акустического экрана и солнечной электростанции. Проведена оценка эффективности защитного экрана по методическим рекомендациям по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам от Росавтодора для галерей и туннелей. Проанализированы работы, относящиеся к тематике климата Ленинградской области, солнечного сияния, потенциала использования солнечной энергии на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Приведены показатели, характеризующие шумозащитную и энергетическую эффективность предложенного решения. Эксплуатация сооружения способна обеспечить шумозащиту и выработку электроэнергии от солнечных батарей, оценочные расчеты показали, что пользоваться вырабатываемым электричеством в течение полугода сможет около 2000 семей. Можно ожидать, что перспективы использования элементов солнечных батарей в конструкциях транспортных акустических экранов будут значительно выше в географических точках нашей страны с большей солнечной активностью.

**Ключевые слова:** шумозащита, акустические экраны, шумовое загрязнение, транспортные потоки, солнечная энергия.

## PROSPECTS FOR THE USE OF SOLAR CELLS IN THE CONSTRUCTION OF ACOUSTIC SCREENS IN THE RUSSIAN FEDERATION

© 2021

**Kaverzneva Tatyana Timofeevna**, ph.d. in engineering,

associate professor of the Higher School of Technosphere Safety

**Dzyuba Nikita Pavlovich**, bachelor's degree of the Higher School of Technosphere Safety

*St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great*

*(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya St., 29, e-mails: kaverztt@mail.ru, dzyuba.np@edu.spbstu.ru)*

**Abstract.** To protect residential areas from the noise of traffic flows in megacities, acoustic screens of various modifications are widely used, which, however, show partial effectiveness in implementing the protective functions assigned to them. This can be explained by various reasons, for example, a complex noise picture, imperfect sound insulation, high cost of execution, and others. The article analyzes the problems associated with the need to ensure the effectiveness of noise protection measures in the conditions of a steady increase in noise loads from traffic flows. It is shown that the use of transport acoustic screens with visors, the design of which includes solar panels, can ensure the investment attractiveness of highway projects due to the potential profit from the energy component. To create a concept for the construction of acoustic protection in the city of In St. Petersburg, a section of territory with an excess of the permissible noise level near a major highway and railway was selected, the necessary noise measurements were carried out, and a 3D model of the highway section was created with a design that combines the functions of an acoustic screen and a solar power plant. The effectiveness of the protective screen was evaluated according to the methodological recommendations for the protection of territories adjacent to highways from Rosavtodor for galleries and tunnels from traffic noise. The article analyzes the works related to the climate of the Leningrad region, solar radiance, and the potential of using solar energy in the territory of St. Petersburg and the Leningrad region. The indicators that characterize the noise protection and energy efficiency of the proposed solution are given. The operation of the facility is capable of providing noise protection and generating electricity from solar panels, estimated calculations have shown that about

2000 families will be able to use the generated electricity for six months. It can be expected that the prospects for the use of solar cells in the construction of transport acoustic screens will be more significant in geographical locations of our country with greater solar activity.

**Keywords:** noise protection, acoustic screens, noise pollution, traffic flows, solar energy.

**Введение.** В настоящее время в мире остро встаёт проблема негативного воздействия шумовых нагрузок на население, как в жилых кварталах, так и в местах трудоустройства, которыми также могут являться жилые кварталы. В условиях постоянно растущего транспортного потока через существующие транспортные магистрали и строительства новых транспортных коридоров, главным источником шума в городской среде является автомобильный транспорт и сопутствующая инфраструктура.

В ситуации роста шумовой нагрузки от транспортных потоков перед градостроителями, проектировщиками, а также профильными организациями ставятся задачи защиты селитебных территорий от шума. Для организации шумозащиты применяются такие мероприятия, как возведение акустических экранов, расположение магистрали в выемке, использование полосы зелёных насаждений [1, 2]. Однако, данные мероприятия могут показывать частичную эффективность по реализации возложенных на них функций [3, 4], что можно объяснить несовершенством существующих методов по организации шумоизоляции и дороговизной соответствующих. Так, для Санкт-Петербурга стоимость за один квадратный метр шумозащитного экрана с учётом монтажа составляет 21 тысячу рублей [5].

Возможным решением проблемы недостаточной эффективности и высокой стоимости организации шумозащитных мероприятий может быть использование транспортных акустических экранов, в конструкцию которых включены солнечные батареи, обеспечивающие повышение инвестиционной привлекательности проектов дорожных магистралей за счёт потенциальной прибыли от энергетической составляющей.

Для проведения исследования был произведён поиск научных статей и официальной информации профильных ведомств по потреблению электроэнергии в Санкт-Петербурге, потенциалу солнечной энергетики на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, солнечным панелям (*noise barrier photovoltaics (NBPV)*, *building integrated photovoltaics (BIPV)*), а также нормативно-правовым актам, регулирующим вопросы защиты от шума.

Исследования *BIPV* прогнозируют рост индустрии солнечной энергетики в общей мировой энергетике и увеличение производимой энергии объектами солнечной энергетики [6, 7]. Потенциал использования солнечной энергии на территории РФ оценён в источнике [8]. Как показано в работе [9], нанесение граффити на солнечные панели может существенно снизить производство ими электроэнергии. Автором статьи рассмотрено решение данной проблемы применением специального «анти-граффити» покрытия. Данное решение имеет свои недостатки, такие как: необходимость в очищении поверхности панели, удорожание

стоимости инфраструктуры, а также устаревание покрытия. В источниках [10, 11] можно найти проекты существующих шумозащитных экранов с использованием солнечных батарей. Однако, только одно из двух упомянутых решений, представленное в проекте *PV-SUD*, смогло бы полностью выполнять свою функцию в городских условиях, поскольку благодаря своей конструкции обеспечивало необходимое снижение шума. Среди русскоязычных источников статья [12], посвящённая теме *NBPV*, является обзорной, и не отвечает на вопросы о целесообразности использования *NBPV* на территории РФ.

**Целью исследования** является обоснование включения солнечных батарей в конструкцию транспортных акустических экранов, обеспечивающих инвестиционную привлекательность проектов дорожных магистралей.

**Материалы и результаты исследования.** Оценка шумозащитных свойств экрана и энергетических показателей солнечных батарей зависит от ряда параметров, таких как: ширина магистрали, удалённость магистрали от селитебных территорий, размеры экрана, совокупная площадь солнечных панелей, угол наклона козырька относительно земли [13]. Численные значения этих параметров обуславливают результаты, отражающие эффективность предложенного сооружения.

В ходе исследования проведён анализ литературы, относящейся к расчётам эффективности акустических экранов и использования солнечной энергии. Из методик оценки акустической эффективности выбрана методика, описанная в «СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков», так как, в отличие от методики из «ОДМ 218.2.013-2011 Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам», в выбранной методике учитывается различие длин звуковых волн, исходящих от автомобильной магистрали и от железнодорожных путей. Учет различия звуковых волн от разных источников является важным, поскольку, как это будет показано в дальнейшем, в рассматриваемом проекте расчёты целесообразно проводить с учетом вклада только железнодорожного транспорта. Затем, после применения метода прямых измерений, было оценено превышение предельного значения уровня звука в двух расчётных точках на прилегающих территориях, подтвердилась необходимость в организации шумозащитных мероприятий. Следующим этапом было использование картографического сервиса для получения расстояний, необходимых для проведения моделирования шумозащитных мероприятий и соответствующих расчётов. Проанализированы существующие решения по использованию солнечных батарей в автомагистральной инфраструктуре,

выявлены недостатки методами абстрагирования и моделирования. У варианта расположения солнечных панелей под углом “от дороги” уменьшается высота акустической тени, что противоречит основной цели проекта. При расположении панелей у поверхности земли возникает опасность вандализма, в результате которого может снизиться уровень производства электроэнергии. Методом косвенных измерений были оценены акустический эффект по снижению шума за счёт возведения объекта, производство электроэнергии и практические показатели, связанные с ним. Расчёты выполнялись для сравнения двух вариантов конструкции с последующим выбором наиболее эффективного.

Для создания концепта сооружения акустической защиты в г. Санкт-Петербурге был выбран участок Суздальского проспекта, расположенный вдоль квартала вблизи домов 89 и 93 корпус 1. Расположение указанных территорий вблизи крупной автомагистрали, а также железной дороги, и отсутствие акустических экранов, как составляющих магистрали, объясняет необходимость организации шумозащитных мероприятий. Между домами и магистралью расположены спортивная и детские площадки; данные участки территории относятся к селитебным зонам, на которых установлен предельно допустимый уровень шума в 45 дБА согласно «СН 2.2.4/2.1.8.562-96».

Первым этапом исследования было проведение измерения уровня шума на детской и спортивной площадках. Для измерений был использован профессиональный цифровой шумомер DT-805 стандарта IEC651 второго класса точности, а также стандарта ANSI S1.4 второго класса точности с погрешностью 1,5 дБА.

Уровень звука на территории детской площадки составил 63,5 дБА, что превышает предельно допустимое значение. На территории спортивной площадки уровень звука оказался равным 65 дБА, что также превышает предельный уровень. Измерения выполнялись при благоприятных погодных условиях, соответствующим эксплуатационным для прибора, при отсутствии осадков, скорости ветра 1 м/с, температуре 10°C, давлении 740 мм.рт.ст.

Важным фактом является близость железнодорожных путей к территориям, где проводились измерения. Во время движения грузовых поездов шум от подвижного состава будет вносить свой вклад в общую картину шума. Данные обстоятельства обуславливают необходимость в шумозащите прилегающих территорий от шума автомобильной магистрали и железной дороги одновременно. Необходимость в организации шумозащитных мероприятий обоснована результатами экспериментальных измерений.

Данные о взаимном расположении автомагистрали, железной дороги и прилегающих территорий получены с помощью картографического сервиса, высота дома соответствует высоте типовых девятиэтажных домов советского периода. Расстояние от лицевой стороны дома до края дороги ближнего к дому составило 74 м, от дома до железнодорожных путей – 130 м, ширина проезжей части – 27 м, высота дома – 30 м.

Конструкция акустического экрана предполагает использование козырька с солнечными батареями. Высота опор акустического экрана выбрана такой, чтобы наклонённый козырёк не препятствовал проезду большегрузного транспорта в первой полосе, а также, чтобы затруднить доступ населения к козырьку, поскольку акустические экраны могут быть объектами вандализма, например, из-за нанесения уличных рисунков-граффити, что недопустимо, поскольку нанесённый на солнечную панель граффити уменьшает её КПД. Исходя из данных требований, для вертикальной опоры была выбрана высота в 5 м.

Для выбора угла наклона козырька, на котором располагаются солнечные панели, были проанализированы работы, относящиеся к тематике климата Ленинградской области, солнечного сияния, потенциала использования солнечной энергии на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Количество часов солнечного сияния в Санкт-Петербурге в период с октября по март может составлять примерно 5-6 часов за месяц, что существенно ограничивает выработку электроэнергии солнечными батареями, а в период с апреля по сентябрь количество часов достаточно для выработки адекватной потребности электроэнергии. Углы наклона панелей относительно земли, при которых солнечные панели показывают максимальную выработку электроэнергии на территории Санкт-Петербурга, составляют 30° и 40° к горизонту [14].

Был выбран угол в 40°, поскольку при данном угле за счёт большей площади зоны солнечных панелей и высоты самого сооружения достигаются более высокие показатели по производству электроэнергии и акустической эффективности.

Схема расположения жилого дома, автомагистрали и ж/д с акустическим экраном на исследуемой территории представлена рисунком (рис.1).

В соответствии со схемой была создана 3D-модель участка магистрали с акустическим экраном и размещёнными на козырьке солнечными батареями (рис. 2).

Короткая (на рисунке слева) опора планируемого сооружения должна быть сплошной (функция шумозащиты). Также опора должна быть достаточно массивной и широкой в поперечном сечении, поскольку несёт на себе наибольшую часть нагрузки от веса всей конструкции, дополнительно возрастающую в зимний период времени, когда на козырьке-крыше образуется снежный покров. Опора выполняет основную роль в защите от шума прилегающих территорий, поэтому её предлагается выполнить из бетона. Для увеличения устойчивости конструкции по середине дороги и у её дальнего от дома края располагаются медианный и латеральный ряды опор – столбов. Такое решение обеспечит естественную вентиляцию под экраном и более быструю эвакуацию из зоны возможной аварии по сравнению с туннелем, поскольку описанная конструкция оставляет свободное направление для эвакуации.

Для достижения максимального производства электроэнергии козырёк-крышу предлагается полностью покрыть солнечными батареями.



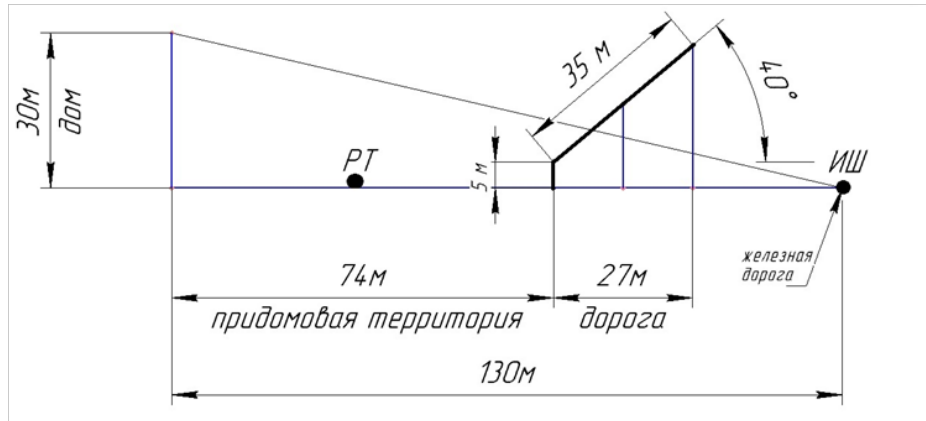


Рисунок 1 – Схема расположения жилого дома, автомагистрали и железнодорожных путей с акустическим экраном

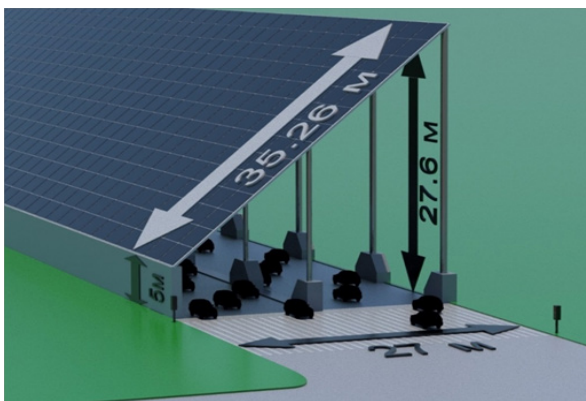


Рисунок 2 – 3D модель акустического экрана с солнечными батареями

Последующие этапы исследования состоят в оценке снижения акустической нагрузки на прилегающие территории, выработки электроэнергии, количества семей, которые смогут пользоваться вырабатываемым электричеством, количество полных циклов перезагрузки электромобилей.

Для оценки эффективности защитного экрана можно воспользоваться методическими рекомендациями по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам от Росавтодора для галерей и туннелей. Согласно данному документу при покрытии шумозащитной галереей 75% дороги снижение шума составляет 30 дБА. Так как планируемое сооружение покрывает 100% дороги, будет обеспечен больший эффект по снижению уровня звука. Однако, снижения и в 30 дБА обеспечит защищенность территорий от создаваемого магистралью шума.

Оценка снижения экраном шума от железной дороги может иметь более точную численную оценку. Для звуковой волны имеет место явление дифракции [15]. На этом явлении основана методика расчёта вносимой экраном в изменение уровня звука поправки. Для подсчёта необходимо знать разность длин путей звукового луча до расчётной точки. В качестве расчётной точки выбрано место на детской площадке. Разность длин звукового луча:

$$\delta = a + b - c = 40,07 + 70,13 - 94,5 = 15,7 \text{ м.} \quad (1)$$

где  $\delta$  - разность длин путей звукового луча, м;  $a$  - кратчайшее расстояние между акустическим центром

транспортного потока и верхней кромкой экрана, м;  $b$  - кратчайшее расстояние от верхней кромки экрана до расчетной точки, м;  $c$  - кратчайшее расстояние от акустического центра транспортного потока до расчетной точки, м.

Снижения шума экраном  $\Delta L_{\text{экp}}$ :

$$\Delta L_{\text{экp}} = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi \frac{2\delta}{\lambda}}}{\text{th} \sqrt{2\pi \frac{2\delta}{\lambda}}} = 26,7 \text{ дБА} \quad (2)$$

где  $\Delta L_{\text{экp}}$  - снижение шума экраном, дБА;  $\delta$  - разность длин путей звукового луча, м;  $\lambda$  - длина звуковой волны, м;

Проведен расчет показателей, необходимых для оценки энергоэффективности объекта. При длине сооружения вдоль проспекта около 700 метров и ширине козырька 35 метров площадь  $S$  козырька-крыши соответствует 24500 квадратных метров. Поскольку выработка электроэнергии с одного квадратного метра в период с апреля по октябрь равна 119,1 кВт·ч/м<sup>2</sup> при КПД батарей в 15% и угле наклона относительно земли в 40°, количество энергии  $E$ , вырабатываемое солнечными батареями планируемого сооружения за выбранный период составит:

$$E = S \cdot E_s = 24500 \cdot 119,1 = 2\,917\,950 \text{ кВт·ч} \quad (3)$$

где  $E$  - совокупная энергия, вырабатываемая солнечными панелями, кВт·ч;  $S$  - площадь козырька, м<sup>2</sup>;  $E_s$  - выработка электроэнергии с одного квадратного метра, кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Для определения количества семей, которые смогут пользоваться энергией, проведен расчёт по тарифу, установленному для газифицированных трёхкомнатных квартир, в которых проживает 4 человека. Для таких семей установлен норматив потребления в 55 кВт·ч на человека в месяц, соответственно на семью потребление составит 220 кВт·ч. Таким образом, пользоваться вырабатываемым электричеством в течение полугодия сможет:

$$N = \frac{E}{F \cdot M} = \frac{2\,917\,950}{220 \cdot 6} \approx 2200 \text{ семей} \quad (4)$$

где  $N$  - количество семей;  $E$  - количество энергии, вырабатываемое солнечными батареями планируемого сооружения за выбранный период;  $F$  - потребление электроэнергии одной семьёй, кВт·ч;  $M$  - количество месяцев.



Описанные результаты продемонстрировали положительный эффект при эксплуатации планируемого сооружения, обеспечивающего и шумозащиту, и выработку электроэнергии от солнечных батарей.

**Заключение.** Основой для проведения исследования были недостаточная разработанность тем *BIPV* и *NBPV* в русскоязычной научной литературе и малое количество соответствующих практических решений в совокупности с растущей незащищённостью селитебных зон от шумовых нагрузок. В мире наблюдается общий рост рынка интегрированной с архитектурными сооружениями солнечной энергетики и реализуются масштабные проекты по возведению шумозащитных сооружений с солнечными панелями. В Российской Федерации пока только происходит становление отрасли, связанной с данным видом энергетики. Таким образом, разработки по созданию акустических экранов с использованием элементов солнечных батарей будут способствовать развитию данного направления. Полученные в ходе работы результаты могут быть использованы как стартовые для продолжения исследований в данной области и последующего применения теоретических разработок на практике.

Главным отличием описанного в статье объекта от существующих решений является сравнительно большие (по отношению к опорной части конструкции) размеры козырька. Таким образом, описанный в статье объект имеет оригинальное исполнение, а сочетанный эффект от использования в конструкции солнечных батарей с обеспечением шумозащиты может стать перспективным направлением. Особенно актуальным это решение может быть в тех регионах страны, где за счёт большей солнечной активности подобные объекты смогли бы показывать большую эффективность, связанную с выработкой электроэнергии.

Оценка снижения объектом уровня звука от железнодорожных путей требует дальнейшей проработки, поскольку неизвестно, является ли снижение достаточным для обеспечения защиты территорий от шумовых нагрузок. Это объясняется возможным влиянием эффектов отражения звука, а также интерференции, с шумом от автодороги. Оценка снижения уровня звука от автомобильной магистрали также требует оценки в зависимости от дальности от въездов под экран, поскольку представленный в статье расчёт выполнен для расчётной точки, значительно удалённой от продольных краёв объекта. Однако, описанный результат по снижению шума от автомагистрали позволяет сделать вывод об эффективности планируемого сооружения.

В результатах, связанных с энергетикой, требуют уточнения показатели совокупной выработки электроэнергии объектом за полугодовой период. При расчёте не был учтен эффект затенения солнечных панелей соседними объектами, а также потери при аккумуляции и передаче энергии. Дополнительно требуют изучения возможные варианты формы профиля козырька-крыши, так как это может повысить выработку электричества. В экономическом плане основной интерес для исследований может представлять оценка стоимости

реализации и последующей эксплуатации подобных сооружений, а также сроки окупаемости.

Таким образом, полученные в статье результаты в большей степени отражают эффекты, связанные с целевым применением, и в меньшей степени с экономической составляющей. Для полноценных разработок в данной области требуются всесторонние исследования, рассматривающие аспекты, проблемы и вопросы, связанные с эксплуатацией подобных сооружений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кирюшина Н.К., Пузакова А.И., Степанов В.Н. Опыт применения средств и методов шумозащиты при реконструкции и строительстве транспортных магистралей в городе Москве // Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2009. С. 372-381.
2. О. А. Ганжа, Н. А. Куткая, В. В. Прокопенко, О. А. Растяпина Методика выбора шумозащитных мероприятий в градостроительном проектировании // Вестник Волгоградского государственного технического университета. 2018. С. 18-19.
3. Бородкина Ю.С., Каверзнева Т.Т. Шумовая нагрузка многоэтажных зданий и расчет их защищенности от транспортного шума // Материалы научной конференции СПбПУс международным участием. 2018. С. 6-9
4. Иванов Н.И., Буторина М.В., Минина Н.Н. Проблема защиты от шума // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 135-145.
5. Васильев В.А., Ксенофонтова В.К. Шум автомобильного транспорта // Noise Theory and Practice №1 (19). 2020. С. 66-76
6. Radulovic, Jasna & Skerlic, Jasmina & Vaskovic, Mina & Bojic, Ljubisa. Building integrated photovoltaics - potential and application // Quality festival. 2019. P. 527-531.
7. Firsova, Irina & Vashieva, Dinara & Litvinov, Aleksandr & Chernova, Oxana & Telezhko, Irina. Trends in the Development of the Global Energy Market // International Journal of Energy Economics and Policy. 9. 2019. P. 59-65.
8. Муравлева Е.А. Оценка потенциала использования энергии солнечного излучения на территории России // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Вып.1. С. 38-45..
9. Tzikas, Chris & de Jong, Minne & Slooff, Lenneke & Debije, Michael & Verkuilen, Stijn & Folkerts, Wierp. Graffiti on Solar Noise Barriers, a case study // 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. 2017. P. 2529-2531.
10. BAM builds a unique noise barrier with integrated solar cells [электронный ресурс]. – Режим доступа –URL: <https://www.bam.com/en/press/press-releases/2017/5/bam-builds-a-unique-noise-barrier-with-integrated-solar-cells> (дата обращения 14.11.2020)
11. PV-SUD Project [электронный ресурс]. – режим доступа –URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-sued.html> (дата обращения 17.11.2020)
12. Шубин И.Л., Тихомиров Л.А. Шумозащитные экраны с интегрированными солнечными батареями // Вестник МГСУ. 2011. №3-1.
13. Курцев Г.М., Безверхая Е.А. Расчет эффективности шумозащитных экранов для малоэтажных жилых застроек, удаленных от автодорог до 200 м // Noise Theory and Practice №1 (15). 2019. С. 64-71
14. Аронова Е.С., Мургул В.А. Оценка целесообразности использования технологий солнечной энергетики в исторической застройке Санкт-Петербурга и климатических условиях Северо-Запада // АМТ. 2013. №2 (23).
15. Пушин К.Е., Бухарина И.Л., Каверзнева Т.Т., Гагарин С.А. Шум: Определение. Методы расчета. Измерения: учебно-методическое пособие. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет». 2018. – 260 с.

Статья поступила в редакцию 18.04.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021

УДК 614.841.343:539.097

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0038

**МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ В УСТАНОВКАХ  
ТЕПЛОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ**

© 2021

**Михайлова Валерия Игоревна**, аспирант**Ивахнюк Григорий Константинович**, доктор химических наук,  
профессор кафедры «Пожарная безопасность технологических процессов и производств».*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 149, e-mails: gidralera@rambler.ru, fireside@inbox.ru)*

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме охлаждения вертикальных стальных резервуаров парков хранения нефтепродуктов на объектах нефтегазового комплекса в условиях углеводородного пожара. Рассмотрены водногелевые составы, модифицированные с помощью переменного частотно-модулированного потенциала, в качестве основного охлаждающего агента в стационарных кольцах орошения резервуара в сравнении с водой. В статье приведены данные расчетов товарно-сырьевых запасов для производства модифицированных водногелевых составов непосредственно на территории резервуарного парка; определена интенсивность подачи водногелевых составов на орошение в зависимости от их концентрации. Разработаны принципиальные схемы приготовления и подачи водногелевых составов на охлаждение резервуаров и методические рекомендации для аварийно-спасательных подразделений объектов нефтегазового комплекса по применению водногелевых составов для охлаждения резервуаров в условиях пожара. Предложенная инновационная методика применения водногелевых составов в стационарных и мобильных установках тепловой защиты резервуарных парков хранения нефтепродуктов позволит снизить расход воды на охлаждение в условиях недостатка сил и средств при тушении пожара и может стать средством превентивного и текущего управления природными и техногенными явлениями разрушительного и пожароопасного характера на территории резервуарного парка.

**Ключевые слова:** гидрогели, водногелевые составы, электрофизическая модификация, тепловая защита, переменный частотно-модулированный потенциал, углеводородный пожар.

**METHOD OF USING HYDROGEL IN THERMAL PROTECTION INSTALLATIONS  
FOR PETROLEUM TANKS**

© 2021

**Mikhailova Valeria Igorevna**, postgraduate student**Ivakhnyuk Grigory Konstantinovich**, doctor of Chemistry,

professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes and Production

*(196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149, e-mails: gidralera@rambler.ru, fireside@inbox.ru)*

**Abstract.** The article is devoted to the problem of cooling petroleum tanks of storage parks at the facilities of the oil and gas complex under conditions of a jet fire. Hydrogel compositions, modified by a variable frequency-modulated potential, are considered as the main cooling agent in stationary irrigation rings of a reservoir in comparison with water. The article presents the data of calculations of commodity stocks for the production of modified hydrogel compositions directly on the territory of the tank park; the intensity of the supply of hydrogel compositions for irrigation is determined, depending on their concentration. Basic schemes for the preparation and supply of hydrogel compositions for cooling tanks and methodological recommendations for emergency rescue units of oil and gas facilities on the use of hydrogel compositions for cooling tanks in jet fire conditions have been developed. The proposed innovative method of using hydrogel compositions in stationary and mobile installations for thermal protection of tank parks for storing petroleum products will reduce water consumption for cooling in conditions of a lack of forces and means when extinguishing a fire and can become a means of preventive and current management of natural and man-made phenomena of a destructive and fire hazardous nature tank park.

**Keywords:** hydrogel, electrophysical modification, thermal protection, variable frequency modulated potential, jet fire.

**Введение.** При развитии пожара в резервуарных парках хранения нефти и нефтепродуктов, как правило, происходит разгерметизация и срыв крыши резервуаров с последующим горением по всей поверхности жидкости, перелив нефтепродуктов за пределы обвалования [1, 2].

Интенсивный тепловой поток, возникающий в следствии факельного горения резервуара, приводит к разогреву соседних с горящим резервуаров и каскадному распространению аварии (эффекту «домино») в

резервуарном парке [3-5].

В ходе развития пожара согласно [6] вероятны следующие сценарии развития аварии:

- пожар развивается в одном резервуаре и не влияет на соседние резервуары в РП;
- пожар распространяется в пределах одной резервуарной группы;
- пожар распространяется в пределах всего РП и может выйти за пределы парка.

Для развития определенного сценария пожара од-

ним из наиболее важных факторов является тепловой режим [7, 8]. Распределение температур внутри горячей жидкости резервуара зависит от физико-химических свойств хранимых жидкостей, от обводненности хранимых жидкостей, метеоусловий, а также характера обрушения крыши (если оно произошло).

Своевременная организация охлаждения [9] стенок горящих и соседних с ними резервуаров позволяет предотвратить каскадный сценарий развития ЧС в резервуарном парке, снизить время свободного развития пожара, уменьшить накопление тепловой энергии в горячей жидкости, а следовательно – снизить объем огнетушащих веществ.

**Целью** авторского исследования является разработка методики применения инновационного теплового агента для использования в стационарных установках охлаждения резервуарных парков.

**Материалы и результаты исследования.** На основании экспериментальных данных и данных, полученных в результате гидравлического моделирования [10], можно предложить модифицированные с помощью переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) водногелевые составы (ВГС) с концентрацией 0,1 масс.% гелеобразователя в качестве охлаждающего вещества в стандартных системах охлаждения для всех типовых РВС.

На рисунке 1 представлена схема технологической линии по производству ВГС на объекте защиты.

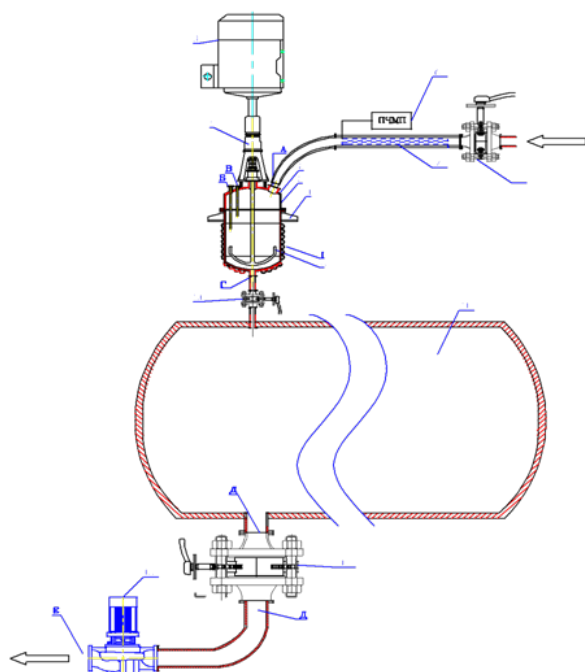


Рисунок 1 – Принципиальная схема технологической линии по производству модифицированных ВГС на объекте защиты: А – вход воды; Б – вход РАП (через дозатор); В – вход гелеобразователя (аммиак); Г – выход гидрогеля в накопительную емкость; Д – выход гидрогеля в насос; Е – выход гидрогеля в систему охлаждения; 1 – привод мешалки; 2 – крышка люка; 3 – корпус аппарата; 4 – опора; 5 – якорная мешалка; 6 – генератор ПЧМП; 7 – сетка волновода; 8 – электродвигатель; 9, 10, 12 – задвижка; 11 – цистерна; 13 – насос.

От источника водоснабжения происходит подача воды через трубопровод, оснащенный волноводом генератора ПЧМП, в аппарат, оснащенный якорной мешалкой. Затем включается привод мешалки и в аппарат вводится необходимое количество гелеобразователя – редкосшитого акрилового полимера (РАП). После того, как произошло перемешивание воды и РАП, в аппарат вводится раствор аммиака для образования полимерных связей в цепочках РАП. Процесс приготовления ВГС подробно описан в [11, 12]. Скорость вращения ротора мешалки, скорости подачи воды и РАП определяются в зависимости от количества ВГС, которое необходимо приготовить. Температурный режим не оказывает существенного влияния на процесс приготовления ВГС, тем не менее, по некоторым данным [13] температура воды порядка 4°С является предпочтительной. Это связано с тем, что вблизи критических температурных точек, вода наиболее полно проявляет свои аномальные свойства – в нашем случае важны преимущественно теплоемкость, теплопроводность и способность к образованию кластерных структур.

После приготовления ВГС поступает в накопительную емкость, из которой будет происходить подача состава в систему охлаждения.

Оборудование по производству ВГС необходимо располагать в отапливаемых помещениях. Складирование РАП должно осуществляться в помещениях с контролируемой влажностью, в следствие гидрофильных свойств РАП. Трубопроводы подачи воды на линию по производству ВГС и трубопроводы подачи ВГС в систему охлаждения резервуаров необходимо заглублять в грунт с учетом региональных норм, либо предусматривать наличие греющего кабеля, для предотвращения промерзания. В остальном процессы приготовления, хранения и использования ВГС не требуют специальных условий, что несомненно является актуальным на объектах повышенной опасности, к которым относятся объекты нефтегазового комплекса.

Для нейтрализации ВГС допускается использовать аммиачную воду (25% водный раствор аммиака), что снижает класс опасности объекта, в отличие от использования более высоких концентраций аммиака [14].

Емкости для хранения аммиака проектируются и исполняются в соответствии с установленными нормами проектирования, при соблюдении необходимых мероприятий по промышленной безопасности объектов.

В случае возникновения пожара запускается привод задвижки на расходной емкости с ВГС и начинается подача ВГС на орошение резервуара соседнего с горящим.

Требуемый запас ВГС различных концентраций на объекте защиты может быть определен по формуле [15]:

$$Q_{\text{Общ}} = q_{\text{ВГС}} \cdot \tau_{\text{ВГС}} \cdot \rho_{\text{мши}} \cdot K \quad (1)$$

где  $q_{ВГС}$  – расход ВГС;  $\tau_{ВГС}$  – расчетное время тушения;  $K$  – коэффициент запаса времени.

$$q_{ВГС} = I \cdot S \quad (2)$$

где  $I$  – требуемая интенсивность орошения;  $S$  – площадь орошения.

В таблице 1 приведены данные о необходимых запасах РАП, аммиака и воды на объекте защиты для целей охлаждения различных по объемам резервуаров.

На основании данных таблицы 1 можно сделать вывод о снижении количества воды на нужды охлаждения при использовании ВГС в качестве охлаждающего агента практически в 2 раза, что может стать решающим фактором в условиях недостатка сил и средств для ликвидации ЧС.

Предлагаемые для целей охлаждения ВГС с улучшенными теплофизическими свойствами (теплоемкостью, теплопроводностью и адгезией к металлам) позволят увеличить время наступления предельного состояния металлоконструкций резервуара, тем са-

мым снизить вероятность свободного развития пожара, выход его за пределы обвалования и границы резервуарного парка. Также существует возможность применения ВГС совместно с уже известными ОТВ, такими как воздушно-механические пены различных кратностей [16]. Первоочередной задачей в действиях пожарных подразделений при тушении пожаров в резервуарах типа РВС, согласно [6, 7], является организация охлаждения горящего и соседних резервуаров с применением водяных стволов и (или) стационарных установок охлаждения.

Охлаждение горящего резервуара следует производить по всей длине окружности стенки резервуара, а соседних с ним – по длине полуокружности, обращенной к горящему резервуару [6, 18].

При охлаждении с помощью модифицированных ВГС интенсивность подачи на охлаждение следует принимать в зависимости от концентраций ВГС согласно данным таблицы 2.

Таблица 1 – Необходимые товарно-сырьевые запасы на объекте защиты

Кол-во, т	Тип РВС							
	5000	10000	10000	20000	20000	30000	40000	50000
Вотв, т (φ=0)	1064,159	1449,738	1739,686	2029,633	2426,404	2319,581	2894,389	3087,688
РАП, т	-	-	-	-	-	-	-	-
Аммиак, т	-	-	-	-	-	-	-	-
Вода, т	1064,159	1449,738	1739,686	2029,633	2426,404	2319,581	2894,389	3087,688
Вотв, т (φ=0,1)	612,488	834,412	1001,295	1168,177	1396,543	1335,060	1665,897	1777,152
РАП, т	0,612	0,834	1,001	1,168	1,397	1,335	1,666	1,777
Аммиак, т	0,612	0,834	1,001	1,168	1,397	1,335	1,666	1,777
Вода, т	611,041	832,577	999,125	1165,613	1393,811	1332,059	1662,454	1775,375
Вотв, т (φ=0,2)	1844,651	2513,028	3015,634	3518,239	4206,015	4020,845	5017,239	5352,309
РАП, т	0,369	0,503	0,603	0,704	0,841	0,804	1,003	1,070
Аммиак, т	1,845	2,513	3,016	3,518	4,206	4,021	5,017	5,352
Вода, т	1842,437	2510,012	3012,015	3514,017	4200,968	4016,020	5011,218	5345,886
Вотв, т (φ=0,25)	2141,418	2917,323	3500,788	4084,252	4882,678	4667,717	5824,410	6213,387
РАП, т	5,354	7,293	8,752	10,211	12,207	11,669	14,561	15,533
Аммиак, т	2,141	2,917	3,501	4,084	4,883	4,668	5,824	6,213
Вода, т	2133,923	2907,113	3488,535	4069,958	4865,588	4651,380	5804,025	6191,640
Вотв, т (φ=0,3)	1036,518	1412,082	1694,499	1976,915	2363,380	2259,332	2819,210	3007,488
РАП, т	3,110	4,236	5,083	5,931	7,090	6,778	8,458	9,022
Аммиак, т	1,037	1,412	1,694	1,977	2,363	2,259	2,819	3,007
Вода, т	1032,372	1406,434	1687,721	1969,008	2353,927	2250,295	2807,933	2995,458
Вотв, т (φ=0,4)	1279,037	1742,474	2090,968	2439,463	2916,350	2787,958	3478,833	3711,163
РАП, т	5,116	6,970	8,364	9,758	11,665	11,152	13,915	14,845
Аммиак, т	1,279	1,742	2,091	2,439	2,916	2,788	3,479	3,711
Вода, т	1272,642	1733,761	2080,513	2427,266	2901,769	2774,018	3461,439	3692,607
Вотв, т (φ=0,5)	965,846	1315,804	1578,965	1842,126	2202,241	2105,287	2626,991	2802,432
РАП, т	4,829	6,579	7,895	9,211	11,011	10,526	13,135	14,012
Аммиак, т	0,966	1,316	1,579	1,842	2,202	2,105	2,627	2,802
Вода, т	960,051	1307,909	1569,491	1831,073	2189,027	2092,655	2611,229	2785,617
Вотв, т (φ=1,0)	3506,886	4777,546	5733,055	6688,564	7996,103	7644,073	9538,328	10175,334
РАП, т	35,069	47,775	57,331	66,886	79,961	76,441	95,383	101,753
Аммиак, т	3,507	4,778	5,733	6,689	7,996	7,644	9,538	10,175
Вода, т	3468,310	4724,993	5669,991	6614,990	7908,146	7559,988	9433,406	10063,405

Таблица 2 – Интенсивность подачи ВГС на охлаждение

Концентрация геля, масс. %	Интенсивности подачи модифицированных ВГС на охлаждение, л·с <sup>-1</sup> на метр длины окружности резервуара типа РВС									
	Горящий РВС			Соседний с горящим РВС (негорящий)				Пожар в обваловании		
	Для колец орошения		Стволами от передвижной пожарной техники	Для колец орошения		Стволами от передвижной пожарной техники	Для колец орошения		Стволами от передвижной пожарной техники	
	высота РВС более 12 м	высота РВС 12 м и менее		высота РВС более 12 м	высота РВС 12 м и менее		высота РВС более 12 м	высота РВС 12 м и менее		
0 (вода)	0,75	0,50	0,8	0,30	0,20	0,3	1,10	1,00	1,2	
0,1	0,30	0,20	0,32	0,12	0,08	0,12	0,45	0,41	0,49	
0,2	0,76	0,51	0,81	0,30	0,20	0,30	1,12	1,01	1,22	
0,25	1,33	0,89	1,42	0,53	0,35	0,53	1,95	1,77	2,13	
0,3	1,27	0,85	1,36	0,51	0,34	0,51	1,87	1,70	2,04	
0,4	0,96	0,64	1,02	0,38	0,26	0,38	1,41	1,28	1,54	
0,5	1,61	1,08	1,72	0,65	0,43	0,65	2,37	2,15	2,58	
1	2,78	1,85	2,97	1,11	0,74	1,11	4,08	3,71	4,45	



Согласно [6] охлаждение резервуаров объемом 5000 м<sup>3</sup> и более целесообразно осуществлять лафетными стволами.

При определении технологии подачи охлаждающего агента, а также количества лафетных стволов, необходимо руководствоваться [6].

Для резервуаров объемом более 5000 м<sup>3</sup> необходи-

мо предусматривать стационарные установки охлаждения, состоящие из секционного кольца орошения и технологических трубопроводов [18].

На рисунке 2 представлена принципиальная схема охлаждения резервуара типа РВС-5000 с применением ВГС в системе орошения резервуара и пожарной техники в условиях пожара.

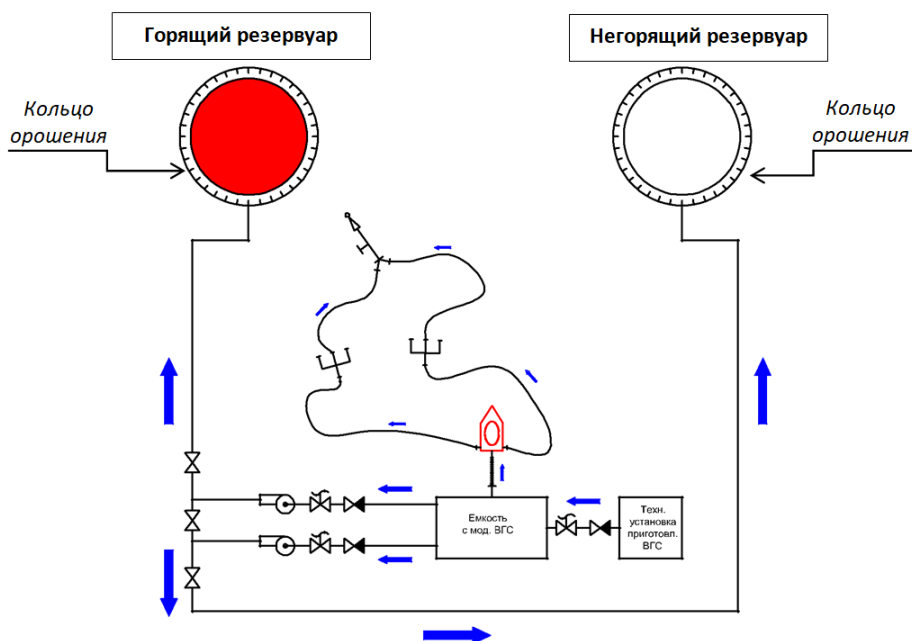


Рисунок 2 – Принципиальная схема охлаждения резервуара типа РВС-5000 с применением ВГС в системе орошения резервуара и пожарной техникой в условиях пожара

Перед началом боевого развертывания и подачи ВГС руководитель тушения пожара выбирает и указывает личному составу наиболее безопасные и кратчайшие пути прокладки рукавных линий, переноса оборудования и инвентаря. Также, указывает места установки пожарных автомобилей с оборудованием для подачи ВГС и располагает личный состав на безопасном расстоянии с учетом возможного вскипания, выброса, разливания горячей жидкости и положения зоны задымления [15].

Подготовка личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений в рамках пожарно-тактических учений должна включать в себя отработку действий по применению ВГС на объектах НГК с потенциальным применением ВГС. На объектах НГК, имеющих резервуарные парки, оснащенные системами охлаждения с применением ВГС, необходимо оборудовать технологические линии по производству и хранению ВГС, а также обучить персонал объектов правилам безопасной работы с РАП и аммиаком.

При эксплуатации производственных линий по приготовлению ВГС особое внимание следует уделить параметрам влажности и температуры помещений, в которых располагаются технологические линии и места хранения сырья для производства ВГС. Так как РАП обладает повышенными гидрофильными свойствами, в том числе, способностью впитывать влагу из окружающей среды [19, 20], помещения должны быть сухими, то есть с относительная влаж-

ность в помещениях допускается 60% и менее.

Кольца и сухотрубы систем орошения должны содержаться в исправном состоянии, периодически проверяться на наличие дефектов и обслуживаться согласно нормативным регламентам объекта.

При подготовке к подаче ВГС на охлаждение необходимо убедиться в наличии трехкратного запаса ОТВ на объекте для обеспечения защиты резервуаров от теплового воздействия в течение всего времени ликвидации ЧС.

**Заключение.** Таким образом, методика применения ВГС для целей тепловой защиты, разработанная на основании экспериментальных и теоретических данных и исследований, включает в себя:

1. Принципиальные схемы приготовления и подачи ВГС на охлаждение резервуаров на объектах НГК.
2. Данные о необходимых товарно-сырьевых запасах для реализации тактико-технических мероприятий по применению ВГС для целей охлаждения резервуаров.
3. Методические рекомендации по применению ВГС для целей охлаждения в резервуарных парках на объектах НГК силами аварийно-спасательных подразделений объекта.

Данная методика может применяться, как средство превентивного и текущего управления природными и техногенными явлениями разрушительного и пожароопасного характера, сопровождающимися значительным ущербом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gomez-Mares M., Zarate L., Casal J., Jet fire and the domino effect.//Fire safety journal. 2008. №43. P.583-588.
2. Скрипник И.Л., Моделирование сценариев развития чрезвычайных ситуаций и расчет риска в типовом резервуарном парке нефтебазы [Электронный ресурс] / И.Л. Скрипник, С.В. Воронин, Т.Т. Каверзнева // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». - 2019. - №4. – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-sstenarijev-razvitiya-chrezvychaynyh-situatsiy-i-raschet-riska-v-tipovom-rezervuarom-parke-neftebazy>
3. Котляревский В.А., Безопасность резервуаров и трубопроводов / В.А. Котляревский, А.А. Шаталов, Х.М. Ханухов – М.: Экономика и информатика, 2000. – 555 с.
4. Азаров Н.И., Анализ возможности каскадного развития аварий на взрывопожароопасных объектах/ Н.И. Азаров, О.В. Давидюк, Н.В. Кошовец, М.В. Лисанов //Безопасность труда в промышленности. -2007. -№5. С.42-47
5. Сучков В.П., Актуальные проблемы обеспечения устойчивости к возникновению и развитию пожара технологий хранения нефти и нефтепродуктов. - М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1995.
6. Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ГУГПС, ВНИИПО МВД России, 1999. 86 с.
7. Марков В.Ф., Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. Пособие / В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, М.П. Миронов, С.Н. Пазникова – Екатеринбург: УрО РАН, - 2011. С. 272.
8. Шароварников А.Ф., Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников - М.: Пожнаука, 2007. – 380 с.
9. Керимов У.А., Анализ влияния охлаждения стенок резервуаров струями воды на процесс горения и тушения легковоспламеняющихся жидкостей при низких температурах окружающей среды [Электронный ресурс] / У.А. Керимов // Проблемы науки. - 2017. - №2(15). – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-ohlazhdeniya-stenok-rezervuarov-struyami-vody-na-protsess-goreniya-i-tusheniya-legkovosplamenuyuschih-yuzhkihsya-zhidkostey>
10. Михайлова В.И., Моделирование систем орошения резервуаров нефтепродуктов в условиях применения модифицированных водногелевых составов / В.И. Михайлова, И.Л. Скрипник, А.В. Иванов //Проблемы управления рисками в техносфере. - 2019. - №4 (52). - С.51–60.
11. Иванов А.В., Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для целей тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов / А.В. Иванов, В.И. Михайлова, Г.К. Ивахнюк, Ф.В. Демехин // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. №4(26). -С.58-67. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67
12. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация; Ивахнюк Г.К. (RU), Матюхин В.Н. (RU), Клачков В.А. (RU), Шевченко А.О. (RU), Князев А.С. (RU), Ивахнюк К.Г. (RU), Иванов А.В. (RU), Родионов В.А. (RU), Опубликовано: 10.04.2013. Бюл. № 10 Федеральной службы по интеллектуальной собственности] URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005>
13. Михайлова В. И., Влияние параметров модификации на теплозащитные характеристики водногелевых составов в условиях углеводородного горения / В.И. Михайлова, А.В. Иванов, В.Я. Трофимец // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России: научно-аналитический журнал. - 2017. - № 3. -С.79 – 87.
14. Федеральный закон N 116-ФЗ от 21.07.1997 "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (последняя редакция)
15. Терехнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М: Пожкнига, 2004. 248с.
16. Алексеик Е.Б., Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен / Е.Б. Алексеик, А.Е. Савенкова, З. Гемип //Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2013. – №. 4.
17. Пинчук В.И., Организация пожаротушения резервуара с мазутом на Старобельской тепловой электростанции по тактическому замыслу / В.И. Пинчук, В.В. Хазилова, Л.Т. Писарев, М.Б. Старостенко, А.В. Кипря // Пожарная и техноферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2019. - № 3(4). –С.138-143.
18. СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности (Актуализированная редакция СНиП 2.11.03-93). – М.: Феникс, - 2015. – 55 с.
19. ГОСТ 32794-2014 Композиты полимерные. Термины и определения.
20. Vujar M., Carbopol polymers as functional gelling agents / М. Vujar, А. Zirko, М. D’emin // ipheb&cphl RUSSIA. - 2017.

*Статья поступила в редакцию 16.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0039

**ВЛИЯНИЕ ПЛОЩАДИ ОБВАЛОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС  
ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ОБЛАКОВ  
ПРИ ПРОЛИВАХ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

© 2021

**Николенко Татьяна Михайловна**, инженер

*ООО «Газпром проектирование»*

*(191036, Россия, Санкт-Петербург, Суворовский пр. 16/13, e-mail: tnikolenko@gazpromproject.ru)*

**Ефремов Сергей Владимирович**, кандидат технических наук,

доцент кафедры Эргономики, экологии и трудового права

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет*

*(190121, Россия, Санкт-Петербург, улица Лоцманская, дом 3, e-mail: sefremov@rambler.ru)*

**Аннотация.** Для обеспечения достаточного уровня безопасности на объектах, где используется, производится, транспортируется и хранится сжиженный природный газ, необходима всесторонняя оценка возможных опасных ситуаций и формируемых опасных зон, возникающих при авариях с участием СПГ. В процессе разрушения трубопровода или емкости содержащей криогенную жидкость происходит ее растекание по подстилающей поверхности, мгновенное вскипание и интенсивное испарение. Охлажденные пары СПГ распространяются вдоль земной поверхности, смешиваются с воздухом и формируют опасные облака. Для формирования адекватных мер по защите конструкций и персонала важно знать размеры и динамику развития опасных зон. Автором определено, что расчет зон опасной загазованности может быть выполнен с использованием физической модели и математического аппарата «Методики моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». Существующая модель дополнена критериями дальности и учетом влажности воздуха. Модель и программный комплекс, разработанные автором, позволяют отследить динамику распространения, дальность и время существования опасных облаков смеси природного газа с воздухом и на базе этих знаний сформировать адекватные меры по защите персонала и конструкций. Одной из мер по защите конструкций и персонала является строительство ограждающих конструкций, позволяющих уменьшить площадь растекания. С помощью разработанной модели проведен анализ зависимости дальности распространения опасных облаков, время их существования от площади ограждающей конструкции. Произведена оценка эффективности их использования на объектах содержащих сжиженный природный газ.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, сжиженный природный газ, опасные облака, обвалование, дальность распространения, пролив СПГ, ограждающая конструкция, модель распространения тяжелых облаков газа, методика расчета, опасные зоны, пары сжиженного природного газа.

**INFLUENCE OF THE COLLAPSE AREA ON THE FORMATION AND PROPAGATION OF  
DANGEROUS CLOUDS IN THE CASE OF LIQUEFIED NATURAL GAS SPILLS**

© 2021

**Nikolenko Tatiana Mikailovna**, engineer

*LLC Gazprom proekirovanie*

*(191036, Russia, St. Petersburg, Suworovsky pr. 16/13, e-mail: tnikolenko@gazpromproject.ru)*

**Efremov Sergey Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate professor

*Saint Petersburg State Marine Technical University*

*(190121, Russia, Saint Petersburg, Lotsmanskaya street 3, e-mail: sefremov@rambler.ru)*

**Abstract.** To ensure a sufficient level of safety at facilities where liquefied natural gas is used, produced, transported and stored, a comprehensive assessment of possible hazardous situations and emerging hazardous areas arising from accidents involving LNG is necessary. In the process of destruction of the pipeline or container containing cryogenic liquid, it spreads over the underlying surface, instantaneous boiling and intense evaporation. The cooled LNG vapors spread along the earth's surface, mix with the air, and form dangerous clouds. To form adequate measures for the protection of structures and personnel, it is important to know the size and dynamics of the development of hazardous areas. The author determined that the calculation of zones of dangerous gas contamination can be performed using a physical model and the mathematical apparatus of the "Methodology for modeling the spread of accidental releases of hazardous substances". The existing model is supplemented with the range criteria and taking into account the humidity of the air. The model and software package developed by the author allow us to track the dynamics of propagation, range and lifetime of dangerous clouds of a mixture of natural gas and air and, based on this knowledge, to form adequate measures to protect personnel and structures. One of the measures to protect structures and personnel is the construction of enclosing structures that reduce the spreading area. With the help of the developed model, the analysis of the dependence of the range of propagation of dangerous clouds, the time of their existence on the area of the enclosing structure is carried out. The efficiency of their use at facilities containing liquefied natural gas is evaluated.

**Keywords:** industrial safety, liquefied natural gas, dangerous clouds, collapse, propagation range, LNG strait,

enclosure structure, heavy gas cloud propagation model, calculation method, hazardous areas, liquefied natural gas vapors.

**Введение.** При проектировании и строительстве объектов содержащих сжиженный природный газ (СПГ) приоритетными должны являться меры для обеспечения безопасности персонала и целостности конструкций. Достижение высокого уровня защищенности объектов невозможно без всестороннего анализа опасностей, исследования динамики аварийных процессов, определения уровней реализации негативных факторов и возможных последствий аварий [1-7].

В случае возникновения аварии с участием сжиженного природного газа происходит пролив криогенной жидкости на подстилающую поверхность, формируются опасные зоны, ограниченные площадью пролива. Разлития СПГ могут вызвать серьезные травмы у людей, в том числе "холодные ожоги", а также привести к негативному воздействию на механические характеристики конструктивных материалов. При попадании человека в пролив такой жидкости без специальной обуви возможно получение серьезных травм ног, а также летальный исход [8].

Поскольку сжиженный природный газ хранится и транспортируется при температуре близкой к температуре кипения (-162 °С) процесс растекания сопровождается интенсивным испарением и кипением [1, 9-12]. Таким образом, в атмосферу попадает большое количество паров сжиженного природного газа, распространяющиеся на большие удаления под воздействием ветра, а также за счет силы тяжести и диффузии. При этом движение воздуха в приземном слое атмосферы практически всегда имеет турбулентный характер [13, 14].

Сжиженный природный газ имеет ряд характерных особенностей, оказывающих значительное влияние на процессы распространения его паров. Непосредственно после испарения газ также имеет температуру близкую к приведенной выше точке кипения. При столь низких температурах метан (составляющий до 98% природного газа) обладает плотностью, значительно превосходящей плотность окружающего воздуха, поэтому может быть отнесен к категории «тяжелых газов» до тех пор, пока плотность его не достигнет плотности воздуха [10, 11, 12, 15, 16].

В процессе распространения облака тяжелого газа под действием силы тяжести прижимаются к земной поверхности и растекаются. В результате чего формируются протяженные зоны загазованности с небольшой высотой и значительной площадью распространения опасного вещества [1, 9, 17, 18].

Со временем происходит подмешивание воздуха и теплообмен с окружающей средой, из-за этого плотность смеси снижается, и облако может приобрести нулевую плавучесть, вследствие чего произойдет отрыв от подстилающей поверхности, затем облако уйдет в верхние слои атмосферы.

Наиболее эффективной мерой по уменьшению площади пролива является строительство обвало-

ваний и ограждающих конструкций, а также любые сооружения позволяющие предотвратить дальнейшее распространение криогенной жидкости. Кроме того, в соответствии с СП 240.1311500.2015 для обеспечения безопасности на площадках содержащих сжиженный природный газ обеспечивается сбор аварийных проливов по перехватывающим каналам в бассейны-накопители [20]. Такая конструкция позволяет сократить площадь, с которой испаряется вещество [21].

**Целью** исследования является оценка влияния площади обвалования или бассейна накопителя на размеры опасных зон, формируемых опасными облаками.

Для полноценного анализа необходимо знать количество вещества, которое перешло в горючее состояние, момент времени такого перехода, точки пространства, где достигаются взрывопожароопасные концентрации, а также время существования пожаровзрывоопасных облаков.

Для достижения поставленной цели необходимо смоделировать пролитие СПГ с ограничением площади растекания и изучить оценить размеры и динамику развития опасных зон на объектах производства, хранения и транспортировки сжиженного природного газа. Анализ этих параметров позволяет оценить эффективность мер по защите персонала и конструкций на опасных производственных объектах (ОПО).

**Материалы и результаты исследования.** Поскольку облака испарившегося природного газа представляют опасность для людей и конструкций преимущественно в то время, когда они распространяются вдоль земной поверхности и, по сути, относятся к «тяжелым газам», расчет зон опасной загазованности может быть выполнен с использованием физической модели и математического аппарата, разработанных авторами методики моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ [9]. Выбранная модель учитывает турбулентное перемешивание опасного вещества с воздухом, гравитационное растекание облака, а также воздействие скорости ветра. Авторами учтены фазовые переходы опасного вещества в облаке, в том числе за счет нагрева подмешиваемым воздухом и теплообмена с подстилающей поверхностью.

Методика с достаточной для практики полнотой решает вопрос растекания тяжелых облаков, к которым относятся пары сжиженного природного газа до снижения их плотности ниже плотности атмосферного воздуха. Однако с целью доведения точности получаемого решения до инженерных пределов автором введены критерии длительности существования облаков и модель влияния влажности воздуха. Предварительные оценки показали, что суммарный вклад, влажности воздуха в общий баланс энергии может составлять до 15% [19].

В различные моменты времени в окружающем



пространстве находится разное количество взрывоопасной смеси. Наибольшую опасность распространения облаков природного газа представляет их воспламенение с образованием волн избыточного давления, воздействием открытого пламени и термической радиации. При этом природный газ в чистом виде не является пожаровзрывоопасным, однако при смешении с воздухом его пары могут воспламеняться. Для этого необходимо, чтобы его концентрация в воздухе лежала в диапазоне ограниченном нижним концентрационным пределом воспламенения (НКП) и верхним концентрационным пределом (ВКП) [11, 12]. Если концентрация менее НКП, то газа будет недостаточно для начала возгорания, а если более ВКП, то в смеси будет слишком мало кислорода.

Для уменьшения площади пролития и снижения интенсивности испарения на площадках содержащих сжиженный природный газ строятся обвалования и бассейны-накопители.

Размеры сборников аварийных проливов СПГ и расстояние от них до резервуаров и другого оборудования должны определяться исходя из безопасной плотности потока теплового излучения, при пожаре пролитого в бассейн-накопитель продукта. Для этого необходимо знать динамику формирования, распространения и максимальные размеры опасных облаков

смеси СПГ с воздухом. Кроме того, опасные зоны, формируемые взрывоопасной смесью, значительно превосходят площадь пролива криогенной жидкости [20].

Таким образом, при оценке эффективности принятых мер по обеспечению безопасности объекта наиболее важным этапом является распространение плотных тяжелых облаков вдоль земной поверхности.

Анализ показал, что для определения пределов существования и распространения взрывоопасного облака следует использовать два критерия:

- достижение на всей его протяженности концентрации меньше нижнего концентрационного порога воспламенения;
- снижение плотности, отрыв облака от поверхности земли и его уход в верхние слои атмосферы.

На рисунках 1 и 2 приведены динамика распространения опасных облаков и динамика массы газа входящей во взрывоопасное облако при различной площади пролива. При этом расчеты выполнены для истечения из трубопровода Ду300 по бетонной поверхности (в соответствии с СП 240.1311500.2015), при скорости ветра 2,5 м/с, температуре воздуха 10°C, и влажности воздуха 60%. При этом для показательности принять, что вещество в пролив поступает в течение 300 с.

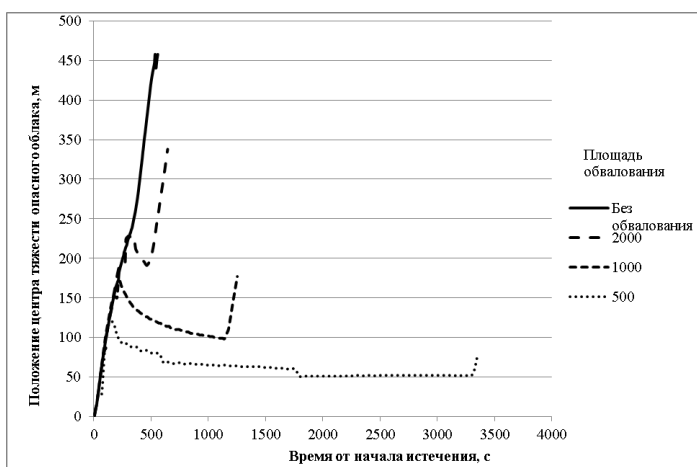


Рисунок 1 – Зависимость положения центра тяжести опасного облака от времени для различных площадей обвалования

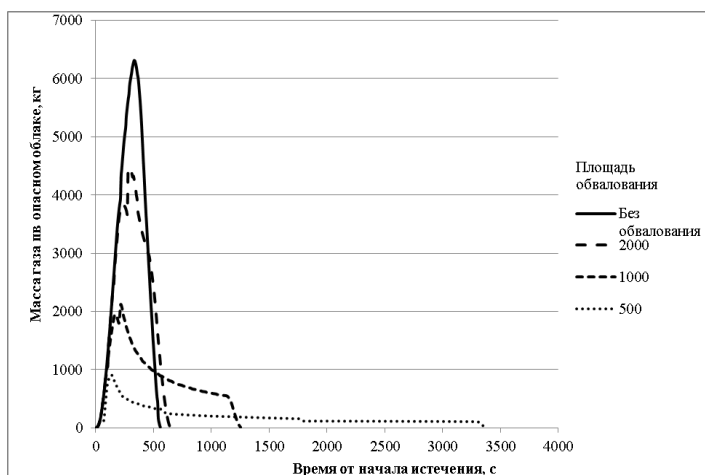


Рисунок 2 – Зависимость массы газа во взрывоопасном облаке от времени для различных площадей обвалования

В начальный момент времени площадь пролива увеличивается, происходит растекание в рамках ограждающей конструкции или по площадке ОПО, что провоцирует рост поступления паров в окружающее пространство. В результате происходит интенсивное распространение паров СПГ и формирование опасной смеси охлажденного природного газа с воздухом. Размеры опасного облака увеличиваются в течение 300 секунд, до тех пор, пока криогенная жидкость продолжает поступать в пролив. В дальнейшем масса газа в опасном облаке снижается, размеры облака постепенно начинают уменьшаться, продолжая дрейфовать по ветру вдоль земной поверхности. В рассмотренном случае распространение продолжается до тех пор пока концентрация природного газа в опасном облаке не достигает нижнего концентрационного предела.

Из рисунков 1 и 2 видно, что при отсутствии ограждающих конструкций за относительно небольшой отрезок времени опасные облака улетают почти на 500 м от места пролива. Распространения происходит почти по линейной зависимости, а время существования опасных концентраций в воздухе вдвое превышает время существования напорного режима истечения. При этом, при отсутствии поступления криогенной жидкости в пролив, резко снижается масса газа в опасном облаке, но оно продолжает дрейфовать вдоль земной поверхности, удваивая дальность распространения.

В случае существования конструкции, позволяющей уменьшить площадь, при достижении ее стенок прекращается рост и незначительно снижается масса взрывоопасной смеси, центр тяжести опасного облака

смещается ближе к проливу. Снижение связано с превышением ВКП вблизи пролива. В дальнейшем может наблюдаться небольшой рост массы паров СПГ перешедшей во взрывоопасное состояние, но местоположение центра тяжести опасного облака продолжает смещаться ближе к проливу. Таким образом, применение ограждающих конструкций даже большой площади позволяет значительно снизить дальность отлета опасных облаков. Однако создание обвалованных и бассейнов-накопителей небольшой площади может значительно увеличить время существования опасных концентрация природного газа в приземном пространстве.

Таким образом, строительство ограждающих конструкций позволяет снизить массу газа в опасных облаках. И как следствие размеры облаков, а также дальность распространения опасных облаков вдоль земной поверхности.

При принятии решения и формировании мер по обеспечению безопасности объектов необходимо оценить расстояния, на которые приемлемо распространение опасных облаков и в соответствии с этим принимать размеры опасных зон.

В процессе моделирования распространения паров СПГ в окружающем пространстве можно оценивать размеры наиболее опасных облаков, массу смеси, приходящейся на 1 м длины облака, и для них производить расчеты возможного теплового воздействия на персонал и конструкции. На рисунках 3 и 4 приведены зависимости наибольшей высоты и полуширины облака опасной концентрации от расстояния до центра пролива СПГ при площади обвалования 1000 м<sup>2</sup>.



Рисунок 3 – Зависимость наибольшей высоты облака опасной концентрации газа от расстояния до центра пролива

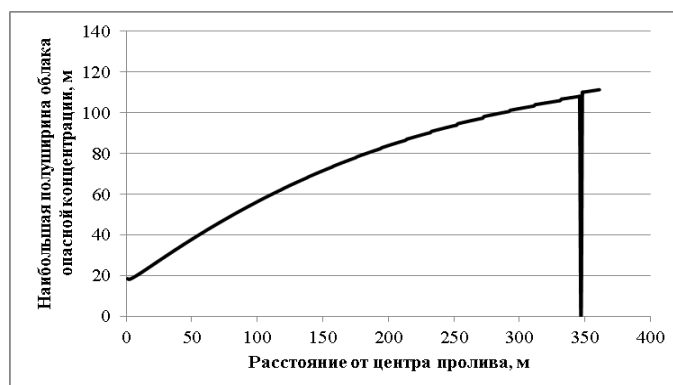


Рисунок 4 – Зависимость наибольшей полуширины облака опасной концентрации газа от расстояния до центра пролива

Из рисунков видно, что по мере удаления от места пролива СПГ происходит растекание облаков, то есть увеличение его ширины. В то же время увеличивается высота облака газа, пока не достигается некоторого предельного значения. По мере удаления от места пролива и увеличения ширины опасного облака происходит снижение его высоты. Кроме того моделирование позволяет определить фрагментация взрывоопасных облаков. В рассмотренном случае на расстоянии примерно 250 м происходит снижение высоты облака и затем его плавное нарастание.

Ориентируясь на величины, представленные на рисунках 3 и 4, можно построить график локальных опасных концентраций на местности. Выявить конструкции, попадающие под воздействие опасных факторов, полноценно оценить возможные опасные зоны и сформировать планировочные решения.

**Заключение.** Использование программного комплекса и модели разработанной автором позволяет на ранних этапах проектирования сформировать адекватные меры по защите персонала и конструкций, разместить ключевые элементы опасного производственного объекта вне зоны действия опасных факторов, определить наиболее безопасное расположение бассейнов-накопителей на площадке ОПО.

Сформированная модель показала результативность адекватного использования ограждающих конструкций, обвалований и бассейнов-накопителей. Однако при выборе конструкций необходим полноценный анализ формируемых опасных зон и динамики распространения облаков. Все эти действия помогут снизить последствия аварий на объектах содержащих сжиженные природный газ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Болодьян, И.А. Горение водородно-воздушных смесей большого объема в свободном пространстве / И.А. Болодьян, В.Н. Куликов, В.И. Макеев, В.В. Строганов [и др.] // Сборник материалов II Всесоюзной научно-технической конференции «Взрывобезопасность технологических процессов, пожаро- и взрывозащита оборудования и зданий». – Черкассы, 1985. – С.15-16.
2. Васильчук, М.П. Проблемы технической безопасности на объектах топливно-энергетического комплекса / М.П. Васильчук // Безопасность труда в промышленности. – 1993. – №12. – С. 2-6.
3. Лесконог А.А. Особенности и основные проблемы обеспечения промышленной безопасности терминалов сжиженного природного газа / А.А. Лесконог, Г.Ю. Чуркин // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 12. – С. 57–62.
4. Пожаробезопасное применение малотоннажных установок хранения и распределения сжиженного природного газа. Рекомендации / ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – М., 2013. – 46 с.
5. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Анализ состояния проблемы / И.А. Болодьян и др. – Пожарная безопасность, – 2000 г., – № 2. – С. 86–96.
6. Пожаровзрывобезопасность сжиженных и газообразных горючих: Сб. научн. Тр. – М.: ВНИИПО, 1990. – 82 с.
7. Яковлев В.В. Экологическая безопасность, оценка риска. Монография. // В.В. Яковлев – СПб.: «Международный центр экологической безопасности региона Балтийского моря», Издательство НП «Стратегия будущего», 2006. – 476 с.
8. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Процессы испарения и формирование пожаровзрывоопасных облаков при проливе жидкого

метана. Методика оценки параметров/ И.А. Болодьян, В.П. Молчанов, Ю.И. Дешевых [и др.] // Пожарная безопасность. – 2000. – №4. – С. 108-121.

9. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору – утв. приказом № 158 от 20.04.2015 – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электр.

10. Бармин И.В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И.В. Бармин, И.Д. Кунис – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.

11. Глинка Н.Л. Общая химия / Н.Л. Глинка – М.: 2003. – 728 с.

12. Литвинова Г.Ж. Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе / Г.Ж. Литвинова, С.Б. Ошеров, А.П. Вогман [и др.] – Воронеж: ДОО «Газпроктинжиниринг», 2005. – 358 с.

13. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. / Г.Н. Абрамович – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1960. – 716 с.

14. Аристов В.В. Изучение устойчивых и неустойчивых струйных течений на основе уравнения Больцмана / В.В. Аристов // Механика жидкости и газа. – 1998. – №2. – С. 153-157.

15. Старовойтова Е. В. Формирование взрывоопасного облака при аварийном выбросе сжиженного углеводородного газа в атмосферу / Е. В. Старовойтова, А. Д. Галеев, С. И. Поникаров // Вестник Казан. Технол. Ун-та. – 2012. – №14. – С. 213-214.

16. Численное моделирование пограничного слоя атмосферы с учетом ее стратификации / А.И. Купцов, Р.Р. Акберов, Д.Я. Исламхузин, Ф.М. Гимранов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (часть 7) – С. 1452-1460.

17. Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеяния тяжелого газа / А.А. Шаталов, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, А.В. Пчельников, С.И. Сумской // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 9. – С. 46-52.

18. Савицкая Т.В., Егоров А.Ф., Захарова А.Ю. Верификация моделей рассеяния газа с использованием специализированных программных комплексов TOX+ и FLACS / Т.В. Савицкая, А.Ф. Егоров, А.Ю. Захарова // Безопасность Труда в Промышленности, – 2015, – № 12. – С. 70-75.

19. Николенко Т.М. Моделирование рассеяния паров сжиженного природного газа в атмосфере. / Т.М. Николенко // Техноферная безопасность как комплексная научная и образовательная проблема : материалы Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 4–6 октября 2018 г. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, – 2018. – 354 с. – С. 251-256.

20. СП 240.1311500.2015 Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности // Министерство РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий – утв. 20.08.2015 – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электр.

21. Улыбин В.Б., Николенко Т.М. Влияние площади обвалования на процесс аварийного пролива сжиженного природного газа. / В.Б. Улыбин, Т.М. Николенко // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XX Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (3-6 апреля 2017 года) том 2, «Технические средства противодействия терроризму», РАРАН-Москва, НПО СМ - СПб., – 2017, – С.152-157.

*Статья поступила в редакцию 13.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 331.46

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0040

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННОГО РИСКА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗОВ  
ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ**

© 2021

**Симонова Марина Александровна**, кандидат технических наук,  
доцент Высшей школы техносферной безопасности  
*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*  
(195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, e-mail: masima82@inbox.ru)

**Новиков Алексей Витальевич**, аспирант кафедры  
Пожарной безопасности технологических процессов и производств  
*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России*  
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр-т., 149, e-mail: tech-74@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлена методика оценки промышленного риска в процессе перемещения грузов грузоподъемными механизмами. В основу которой положены методы: математического моделирования, анализа и синтеза, статистики. В процессе анализа условий выполнения технологического процесса и оценки критериев опасных производственных факторов, возникающих при перемещении грузов грузоподъемными механизмами, выполняется моделирование матричной структуры управления уровнем риска. Принципом которой является формирование показателей факторов опасности и исходных данных при осуществлении технологического процесса в матрицы. Что позволяет провести оценку опасности, влияющую на уровень риска факторов и определить мероприятия по устранению или уменьшению их до приемлемого уровня любых угроз при погрузочно-разгрузочных работах. Для этого, по результатам проведенных исследований по выявлению причин возникновения аварий и несчастных случаев, сформирован перечень опасных производственных факторов возникающих при проведении грузоподъемных работах, который нужен как показатель, влияющий на результативность и эффективность использования компенсирующих мероприятий при определении оценки риска. Реструктуризация всех преобразований и вычислений в методике, представленной в виде последовательности определения оценки риска в алгоритме итерационного процесса, где поэтапный анализ сравнения его, позволяет провести расчет более удобным и простым способом. Это способствует актуализировать существующие методики проведения процедур оценки и снижения риска с помощью прогнозирования динамики его изменения. Таким образом, представленная методика представляет собой оптимизированную систему безопасности по ликвидации возникающих опасных производственных факторов, приводящих к возникновению аварий и травматизму.

**Ключевые слова:** грузоподъемные механизмы, мостовой кран, опасный производственный фактор, авария, несчастные случаи, процесс перемещения грузов, технологический процесс, риск, моделирование, компенсирующие мероприятия.

**METHODOLOGY OF INDUSTRIAL RISK ASSESSMENT WHEN HANDLING LOADS  
BY LIFTING MACHINES**

© 2021

**Simonova Marina Aleksandrovna**, candidate of technical sciences,  
associate professor higher school of technosphere safety  
*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*  
(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29, e-mail: masima82@inbox.ru)

**Novikov Alexey Vitalievich**, post-graduate student of the department  
Fire safety of technological processes and production  
*Saint-Petersburg University State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*  
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 149, e-mail: tech-74@mail.ru)

**Abstract.** The article presents a methodology for assessing industrial risk in the process of moving goods by lifting mechanisms. It is based on the following methods: mathematical modeling, analysis and synthesis, statistics. In the process of analyzing the conditions for the implementation of the technological process and evaluating the criteria of hazardous production factors arising from the movement of goods by lifting mechanisms, the matrix structure of the risk level management is simulated. The principle of which is the formation of indicators of hazard factors and initial data in the implementation of the technological process in the matrix. This allows us to assess the risk that affects the level of risk factors and to determine measures to eliminate or reduce them to an acceptable level of any threats during loading and unloading operations. For this, according to the results of the studies carried out to identify the causes of accidents and incidents, a list of hazardous production factors arising during lifting operations has been formed, which is needed as an indicator that affects the effectiveness and efficiency of the use of compensating measures in determining the risk assessment. Restructuring of all transformations and calculations in the methodology, presented in the form of a sequence for determining the risk assessment in the algorithm of the iterative process, where a step-by-step analysis



of its comparison allows the calculation to be carried out in a more convenient and simple way. This helps to update the existing methods of conducting risk assessment and mitigation procedures by predicting the dynamics of its change. Thus, the presented methodology is an optimized safety system for the elimination of emerging hazardous production factors leading to accidents and injuries.

**Keywords:** lifting mechanisms, overhead crane, hazardous production factor, accident, accidents, cargo movement process, technological process, risk, modeling, compensating measures.

**Введение.** Процесс перемещения грузов, в котором участвуют грузоподъемные механизмы, характеризуются как опасный производственный процесс, при этом их эксплуатация должна обеспечивать промышленную безопасность, т.е. состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий [1].

Для оценки влияющих на уровень риска факторов и определения комплекса мероприятий по устранению или уменьшению до приемлемого уровня любых угроз при погрузочно-разгрузочных работах разработана методика оценки промышленного риска при перемещении грузов грузоподъемными механизмами. В основу которой положены методы: математического моделирования, анализа и синтеза, статистики.

Целью настоящей Методики является определение оценки риска путем моделирования матричной структурой управления показателями опасных производственных факторов, влияющие на исходные данные технологического процесса перемещении грузов грузоподъемными механизмами, вследствие реализации компенсирующих мероприятий. Где процессом всех преобразований и вычислений является кодификации каждого значения производственных факторов, учитывающихся при оценке риска, а реструктуризация последовательности его определения представленная

в алгоритме итерационного процесса, позволяет поэтапно анализировать его сравнение более удобным и простым способом. Это способствует актуализировать существующие методики проведения процедур оценки и снижения риска с помощью прогнозирования динамики его изменения.

Таким образом, представленная методика представляет собой оптимизированную систему безопасности по ликвидации возникающих опасных производственных факторов, приводящих к возникновению аварий и травматизму.

**Материалы и методы исследования.** Проведем исследование и определение оценки риска технологического процесса перемещения грузов грузоподъемными механизмами. Технологический процесс перемещения грузов – это часть производственного процесса, которая состоит из технологических операций по подъему, перемещению, опусканию грузов грузоподъемными механизмами.

Анализ показателей состояния аварийности и травматизма при эксплуатации подъемных сооружений в период с 2009 по 2020 годы, представленных Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), представлены на основе заключений технического расследования, носят организационный и технический характер. Основные сведения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень опасных производственных факторов

Причины	№ п/п	Перечень опасных производственных факторов, влияющих на аварии и несчастные случаи
1	2	3
Технические	1	Неисправность приборов безопасности ПС.
	2	Неисправность тормоза механизмов грузоподъемного крана по рельсовому пути.
	3	Установка тупиковых упоров с нарушением требований инструкции по эксплуатации.
	4	Неудовлетворительное состояние рельсовых путей ПС.
	5	Использование непригодных к использованию съемных грузозахватных приспособлений.
	6	Эксплуатация грузоподъемного крана, имеющего усталостные трещины в несущих металлоконструкциях, болтовых соединениях.
	7	Не подготовленная надлежащим образом площадка работы ПС.
	8	Запасовка канатов с нарушением требований паспорта и руководства по эксплуатации.
Организационные	1	Ненадлежащим образом не организован/не осуществлялся производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности.
	2	Эксплуатация крана без проведения, своевременных осмотров, ремонтов и технических освидетельствований, и экспертиз.
	3	Отсутствуют ответственные специалисты по промышленной безопасности при эксплуатации ПС и обученный, аттестованный персонал.
	4	Отсутствие эксплуатационной документации на ПС.
	5	Не оформлен наряд-допуск на производство работ в охранной зоне ЛЭП.
	6	Пуск кранов в работу с нарушением установленного порядка.
	7	Ведение работ с нарушением ППР или при его отсутствии.
	8	Не установлен порядок обмена сигналами между стропальщиками и крановщиком.
	9	Производство работ с нарушением инструкции по монтажу (демонтажу) крана.
	10	Эксплуатация ПС без разработанных организацией должностных и производственных инструкций.
	11	Работа в опасной зоне.
	12	Работа в стесненных условия.
	13	Одновременная работа более 2 ед. кранов.
	14	Работа с повышенным уровнем шума на рабочем месте.
	15	Работа на открытом воздухе при действии опасных атмосферных явлений.
	16	Работа с ограниченной видимостью.
	17	Работа с крупногабаритными грузами.
	18	Работа в опасной зоне.

На основании указанных опасных производственных факторов в таблице 1, проведем исследование. Так на примере, проведения погрузочно-разгрузочных работ крупногабаритных грузов в терминале складирования грузов мостовыми кранами, установленных в два яруса в одном пролете и на одном крановом пути, представленные на рисунках 1 и 2. Рассмотрим, как выявляются факторы опасности возникающие в этом технологическом процессе, нужные для формирования матричной структуры при расчете риска.

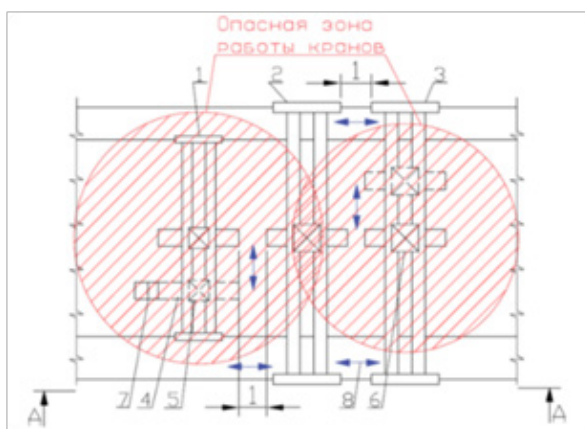


Рисунок 1 – Вид сверху. Схема технологических операций погрузочно-разгрузочных работ крупногабаритных грузов в терминале складирования грузов мостовыми кранами, установленных в два яруса и на одном крановом пути.

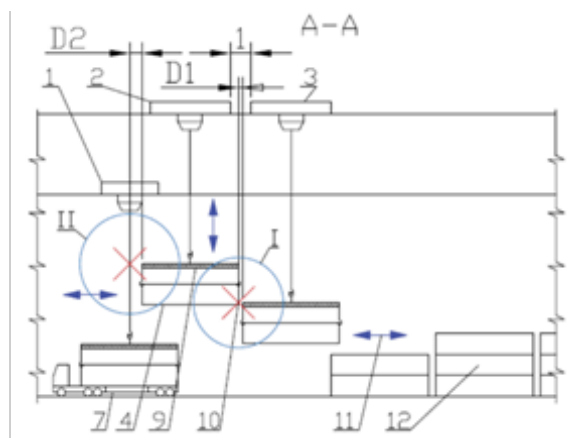


Рисунок 2 – Вид сбоку. Схема технологических операций погрузочно-разгрузочных работ крупногабаритных грузов в терминале складирования грузов мостовыми кранами, установленных в два яруса и на одном крановом пути.

В результате исследования опасной зоны одновременной работы мостовых кранов, установленных в два яруса и на одном крановом пути, наблюдаем столкновение крупногабаритного груза между собой и краном, а также столкновение мостовых кранов с частями соседнего крана. Это происходит по ряду факторов опасности в данном процессе: работа с крупногабаритными грузами; работа в стесненных условиях; одновременная работа более двух единиц мостовых кранов; работа с ограниченной видимостью. Т.к. машинист (оператор) мостового крана 1 из-за наличия слепой зоны работы кранов II характеризующая рас-

стояние слепой зоны работы крана D2 не может увидеть мостовой кран 2, очень большая вероятность столкновения с грузовыми канатами и транспортируемым грузом мостового крана 2. В соответствии Правил безопасности расстояние между выступающими частями крана и встречающимися предметами не должно быть 1 м, в данном случае это условие не может выполнено, в соответствии расстояния слепой зоны работы крана D1 в которую попадает крупногабаритный груз, образуя для машинистов (операторов) крана слепую зону I работы мостовых краны 2 и 3, установленный на верхнем пролете, что может привести к столкновению крупногабаритного груза между собой и с краном.

Целью исследования является выявления опасных производственных факторов, связанных с отраслевой особенностью производства и влияющих на определение исходных данных для оценки риска. Составление матрицы оценки риска позволит оценить влияние опасных факторов на его уровень и определить мероприятия по устранению или уменьшению до приемлемого уровня любых угроз при погрузочно-разгрузочных работах. Для задания критериев уровня риска предлагается провести категоризацию, представленную на рисунке 3 [3, 5]:

Низкий риск — опасности, которые должны быть в достаточной мере несущественны, и грузоподъемные работы могут быть начаты после того, как будут приняты все необходимые меры безопасности, определенные во время оценки риска [8, 9].

Средний риск — технологический процесс следует выполнять только с надлежащего разрешения руководства, после консультации с командой и специалистами по оценке, если это требуется. Если это возможно, следует пересмотреть метод выполнения работ и оценить, могут ли они быть выполнены более безопасным способом так, чтобы еще больше уменьшить риски [6, 7].

Высокий риск — технологический процесс не следует выполнять. Метод перемещения груза должен быть определен заново или должны быть внедрены дополнительные меры для уменьшения риска до допустимого уровня. Управление также должно быть пересмотрено до начала работ [6, 7].



Рисунок 3 – Диаграмма распределения уровня риска.

Диаграмма распределения уровня риска позволит провести оценку результата расчета риска. При составлении матрицы оценки риска выявляются факторы, повышающие уровень риска до неприемлемых значений, и это позволит разрабатывать и внедрять компенсирующие мероприятия в зависимости от степени влияния на безопасность технологического процесса.

Процесс формирования матрицы в системе управления уровнем риска осуществляется в два этапа. Первый этап основывается на формировании структуры модели управления риском, которая осуществляется по трем стадиям. Первая состоит из одноуровневой матричной структуры, куда входят исходные данные технологического процесса (показатель  $A_n$ ). Например, количество грузоподъемных механизмов, обслуживающего персонала, перемещаемого груза. Показатель  $B_n$  представляет собой перечень опасных производственных факторов, влияющих на исходные данные в технологическом процессе, выбранные по результатам исследования, проводимого руководителями и специалистами, осуществляющие грузоподъемные работы грузоподъемными механизмами. Вторая стадия – составление двухуровневой матрицы, учитывающей не только исходные данные значение  $A_n$  и перечень опасных производственных факторов значениями  $B_n$ , но и условия выполнения технологического процесса  $C_n$  и другие показатели, влияющие на результат событий. Третья стадия – многоуровневая матрица, которая формируется значениями от  $A_n$  до  $N+1n$  вероятных событий, влияющих на выполнения технологического процесса, представлена на рисунке 4.

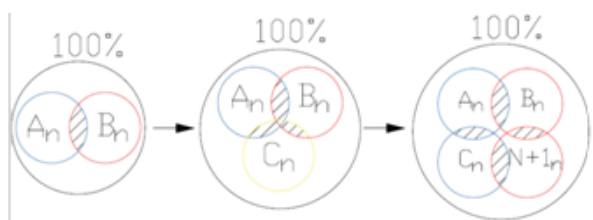


Рисунок 4 – Формирования уровневой матричной структуры.

Процесс преобразования технологического процесса в одноуровневую и многоуровневую матрицу основан на исследовании значений показателей функционального назначения технологического процесса, состоящего из составляющих одноуровневой матричной структуры или многоуровневой матричной структуры. Принцип формирования и рассмотрения структур однотипен.

Второй этап процесса основан на кодификации каждого значения производственных факторов, учитывающихся при оценке риска. Предлагается использовать двоичную кодификацию.

Формирование матриц  $A_n$ , где выбор двоичных кодов осуществляется по принципу наибольшего из условий анализа задания на выполнение технологического процесса. Например, исходные данные «Ра-

бота одного крана» «0» или «Одновременная работа несколько кранов» «1», «Перемещение одного груза» «0» или «Перемещение несколько грузов» «1». Если значение исходных данных постоянно, то присвоенный код равен «1». Выбор значений матрицы  $B_n$ , состоящей из перечня опасных производственных факторов, осуществляется по таблице 1 с учетом влияния на каждый показатель исходных данных из задания на выполнение технологического процесса. Например, если на исходные данные: «Работа крана в количестве 1 ед.» влияют опасные производственные факторы виде: «Стесненные условия», «Работа вблизи линии электропередач», то присваиваем этим фактором код «1» и т.д. Если влияние опасных производственных факторов на каждое значение исходных данных повторяется, то их значение записывается один раз с присвоением кода «1». Процесс вычисления величины риска производится перемножением вышеуказанных матриц. При этом наглядно представляются опасные производственные факторы, оказывающие максимальное влияние на уровень риска (рис. 5). Это позволяет создать алгоритм управления уровнем производственной безопасности при перемещении грузов мостовыми кранами, установленными в два яруса.

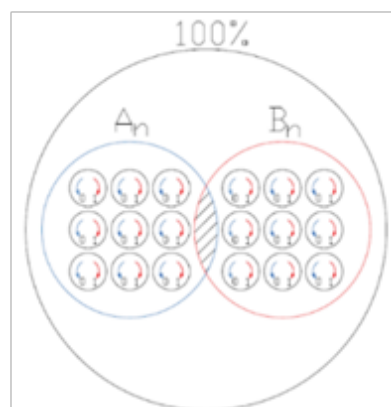


Рисунок 5 – Формирование матричной структуры управления уровнем риска

Основываясь на сформированных матрицах факторов, влияющих на уровень риска, расчет промышленного риска необходимо проводить по формуле:

$R = 1 / (Z) \times 100\%$ , откуда  $R = 1 / (A \times B = Z) \times 100\%$ , где (1)

$R$  – показатель промышленного риска, %;

$Z$  – вероятность событий всего объекта, где происходит воздействие факторов опасности на исходные данные;

$A$  – матрица двоичных кодов, сформированных на основании исходных данных объекта;

$B$  – матрица двоичных кодов, сформированных на основании факторов опасности объекта.

Так как полученные результаты абстрактны, т.е. вероятность событий из двух составляющих исходных данных и факторов опасности, имеют общую составляющую, а ячейки матрицы – это события, где формируются воздействия опасных факторов на исходные данные. В соответствии с эти находим среднее

значение вероятных событий всего объекта, по формуле:

$$Z^* = Z = m_i \times n_i / \sum_{n=1}^n (a_1 v_1 + \dots + a_n v_n), \text{ где (2)}$$

$Z^* = Z$  – среднее значение вероятных событий всего объекта;

$m_i$  – кол-во столбцов;

$n_i$  – кол-во строк;

$a$  – ячейка матрицы  $A$ ;

$v$  – ячейка матрицы  $B$ ;

$n$  – порядковый номер ячеек матриц  $A$  и  $B$ .

Методика управления уровнем риска на опасном производственном объекте с применением грузоподъемных механизмов, установленных в два яруса, представлена в виде алгоритма итерационного процесса, представленного на рисунке 6.

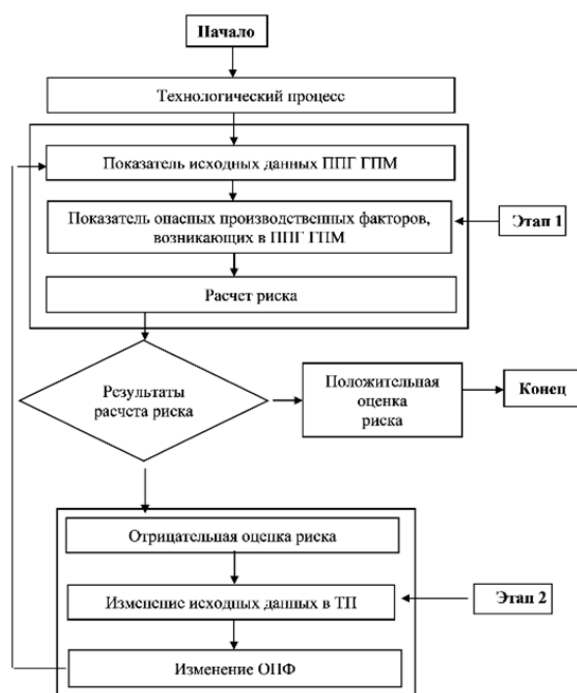


Рисунок 6 - Алгоритм итерационного процесса управления риском.

Обозначения: ТП – технологический процесс; ППГ – процесс перемещения грузов; ГПМ – грузоподъемные механизмы; ОПФ – опасный производ-

ственный фактор.

В общем виде процесс управления риском заключается в создании матриц, учитывающих особенности осуществления технологического процесса перемещения грузов, выполнении расчета риска и сравнения полученного значения с представленными выше критериями. Если на первом этапе полученное значение риска среднее или низкое, что удовлетворяет требованиям безопасного проведения грузоподъемных работ, расчет завершают, если нет, то переходят ко второму этапу путем введения компенсирующих мероприятий.

**Результаты исследования.** Результаты оценки промышленного риска при перемещении грузов грузоподъемными механизмами представлены на примере технологического процесса работы мостовых кранов, установленных в два яруса в одном пролете. На основании результатов исследования проведем моделирование матрицы. Вследствие чего, сформируем показатели исходных данных и перечень возникающих опасных производственных факторов (табл. 2 и 3).

На основании показателей составляем матрицы в соответствии раздела формирования матриц с присвоением кода и производим вычисления по формулам (1) и (2) (рис. 7) [4, 10, 11].

В результате вычисления видно, что в соответствии с учитываемыми факторами, характеризующими как технологический процесс, так и факторы его опасности, полученная величина риска имеет высокое значение, при котором погрузочно-разгрузочные работы запрещены. Для обеспечения безопасности процесса перемещения грузов в таких условиях может быть предложено компенсирующее мероприятие, например применение блокировочных устройств. Это повлияет на показатель опасных производственных факторов, возникающих при проведении погрузочно-разгрузочных работ мостовыми кранами, установленными в два яруса, а именно: «Работа в стесненных условиях», «Одновременная работа более 1 ед. кранов в одном пролете», «Работа с ограниченной видимостью», «Работа с крупногабаритными грузами». Тогда по измененным результатам производим вычисление риска (рис. 8).

Таблица 2 – Показатели исходных данных

Наименование показателя	№ п/п	Показатель исходных данных в матрице А	Обозначение ячейки матрицы	Двоичный код чисел от 0 до 1
1	2	3	4	5
Показатель исходных данных при выполнении технологического процесса перемещения грузов грузоподъемными механизмами	1.	Кол-во кранов 1ед.	$a_1$	0 / 1
	2.	Кол-во кранов более 1ед.	$a_2$	0 / 1
	3.	Кол-во стропальщиков 1 ед.	$a_3$	0 / 1
	4.	Кол-во стропальщиков более 1 ед.	$a_4$	0 / 1
	5.	Кол-во груза 1 ед.	$a_5$	0 / 1
	6.	Кол-во груза более 1 ед.	$a_6$	0 / 1
	7.	Кол-во транспорта 1 ед.	$a_7$	0 / 1
	8.	Кол-во транспорта более 1 ед.	$a_8$	0 / 1
п.	Дополнительные условия.	$a_n$	0 / 1	



Таблица 3 – Показатели опасных производственных факторов

Наименование показателя	№ п/п	Показатель опасных производственных факторов в матрице В	Обозначение ячейки матрицы	Двоичный код чисел от 0 до 1
1	2	3	4	5
Показатель опасных производственных факторов, возникающих в технологическом процессе перемещения грузов грузоподъемными механизмами	1.	Работа в опасной зоне.	$V_1$	0 / 1
	2.	Работа в стесненных условиях.	$V_2$	0 / 1
	3.	Одновременная работа более 1 ед. кранов в одном пролете.	$V_3$	0 / 1
	4.	Работа с повышенным уровнем шума на рабочем месте.	$V_4$	0 / 1
	5.	Работа на открытом воздухе при действии опасных атмосферных явлений.	$V_5$	0 / 1
	6.	Работа с ограниченной видимостью.	$V_6$	0 / 1
	7.	Работа с крупногабаритными грузами.	$V_7$	0 / 1
	8.	Работа вблизи линии электропередачи более 42В.	$V_8$	0 / 1
	n.	Дополнительные условия.	$V_n$	0 / 1

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline m_i \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline A \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline m_i \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline B \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline m_i \\ \hline 0 & 1 & 1 \\ \hline 2 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline Z \\ \hline \end{array} \Rightarrow Z = 9/8 = 1,125 \\ R = (1/1,125) \times 100\% = 88\%$$

Рисунок 7 – Расчет промышленного риска

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline m_i \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline A \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline m_i \\ \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline B \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline m_i \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline Z \\ \hline \end{array} \Rightarrow Z = 9/3 = 3 \\ R = (1/3) \times 100\% = 33,3\%$$

Рисунок 8 – Расчет промышленного риска

Сравнивая полученные результаты видно, как компенсирующие мероприятия влияют на уровень риска – в представленном на рисунке 8 расчете он удовлетворяет требованиям для процесса перемещения грузов.

**Заключение.** На основании всего вышесказанного можно констатировать, что методика оценки промышленного риска в процессе перемещения грузов грузоподъемными механизмами заключается в выявлении опасных производственных факторов, возникающих в технологическом процессе. Принцип моделирования матрицы основан на алгоритме итерационного процесса анализа и оценки рисков, что позволяет провести расчет оценки риска более удобным и простым способом, учитывая многообразие влияющих факторов. Оценка риска может послужить основанием для принятия компенсирующих мероприятий по его снижению.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 N 116-ФЗ (ред. от 02.06.2016 г.).
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения" от 26.11.2020 №461.
3. ГОСТ 34019-2016 «Краны грузоподъемные. Методы и процедура оценки и снижения риска», 2017г.
4. В.Н. Задорожный, В.Ф. Зальмеж, А.Ю. Трифонов, А.В.

- Шаповалов Учебное пособие. Высшая математика для технических университетов «Линейная алгебра», 2009.
5. ISO 31000 «Международный стандарт управления рисками».
6. РД 10-34-93 «Типовая инструкция для лиц, ответственных за безопасное производство работ кранами» 1993г.
7. РД 10-40-93 «Типовая инструкция для инженерно-технических работников по надзору за безопасной эксплуатацией грузоподъемных машин» 1993г.
8. РД 10-74-94 «Типовая инструкция для крановщиков (машинистов)» 1994г.
9. РД 10-107-96 «Типовая инструкция для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами» 1996г.
10. Борович З.И. Учебное пособие является введением в линейную алгебру. «Определители и матрицы», 2009.
11. Зубков А.М., Севастьянов Б.А., Чистяков В.П. Учебное пособие предназначено для студентов математических и физических специальностей вузов. Сборник задач по теории вероятностей, 2009.
12. Сайт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Ростехнадзор. Раздел «Аварийность и смертельный травматизм при эксплуатации подъемных сооружений»: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/equipment/Analysis/>.
13. Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», 2011.
14. ГОСТ ISO 12100-2013 «Безопасность машин. Основные принципы конструирования. Оценка риска и снижения риска», 2013.
15. ГОСТ 33709.1-2015 «Краны грузоподъемные. Словарь. Часть 1. Общие положения», 2015.
16. ГОСТ 1.2-2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены», 2015.

17. ГОСТ 12.3.020-80 «Система стандартов безопасности труда. Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности», 1980.
18. ГОСТ 12.3.009-76\* «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности», 1976.
19. ГОСТ 12.3.002-2014 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности», 2014.
20. Приказ Минтруда России от 28.10.2020 N 753н "Об утверждении Правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов", 2020.

*Статья поступила в редакцию 21.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 331.4, 624.9, 004.942

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0041

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ ТРАВМАТИЗМА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ ПО ВИНЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

©2021

Субботина Надежда Андреевна, аспирант

Нам Галина Евгеньевна, аспирант

Гончарук Татьяна Николаевна, старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

*(190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4,*

*e-mails: subbota\_91@mail.ru, yamibum@gmail.com, tatjana.goncharuk@yandex.ru)*

**Аннотация.** Безопасность выполнения работ зависит от знаний, навыков и умений, и от того, насколько сам рабочий готов работать безопасно. Чтобы свести к минимуму травматические риски на базе Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, в рамках проекта SAFECON, создана специальная образовательная среда, через погружение в которую можно воздействовать на психику и восприятие для формирования безопасной поведенческой модели, направленной на правильное поведение на рабочем месте. Неотъемлемой частью данной среды являются модули интерактивного обучения – физические объекты, представляющие девять основных видов строительных работ в двух исполнениях: травматическая ситуация и выполнение тех же работ в соответствии с требованиями безопасности. Трагизм всего происшедшего, представленный в модуле, нацелен на психологическое побуждение к безаварийной работе. Используя их в обучении по охране труда, можно добиться уважительного отношения работников к своей жизни. Информационное моделирование – это еще одно решение, которое может быть использовано для автоматизированного мониторинга за соблюдением требований охраны труда и обеспеченностью выполнения технологических процессов. Разработанный алгоритм действий по допуску работника к выполнению опасных видов работ в соответствии с нормативными требованиями упрощает контроль его готовности к безаварийной работе, сообщит о несоответствии, подскажет решение. Только совместные решения могут изменить ситуацию с производственным травматизмом в России, снизит количество несчастных случаев по вине «человеческого фактора», что, несомненно, приведет к повышению производительности труда.

**Ключевые слова:** охрана труда, травматизм, опасность, риск, обучение, строительство, инновационная среда обучения, модули интерактивного обучения, «живописное» воспроизведение несчастного случая, психологические причины травматизма, информационные технологии, информационное моделирование.

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO REDUCE INJURIES ON CONSTRUCTION SITE DUE TO THE HUMAN FACTOR

©2021

Subbotina Nadezhda Andreevna, post-graduate student

Nam Galina Evgenievna, post-graduate student

Goncharuk Tatiana Nikolaevna, senior lecturer

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

*(190005, Russia, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya street 4,*

*e-mails: subbota\_91@mail.ru, yamibum@gmail.com, tatjana.goncharuk@yandex.ru)*

**Abstract.** Work safety depends on knowledge, skills and abilities, and on how the worker himself is willing to work safely. To minimize traumatic risks on the basis of the St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, within the framework of the SAFECON project, a special educational environment has been created, through immersion into which one can influence the psyche and perception to form a safe behavioral model aimed at correct behavior in the workplace. An integral part of this environment are interactive learning modules - physical objects representing nine main types of construction work in two versions: a traumatic situation and performing the same work in accordance with safety requirements. The tragedy of everything that happened, presented in the module, is aimed at a psychological motivation for trouble-free work. Using them in occupational safety training, you can achieve respectful attitude of workers towards their lives. Information modeling is another solution that can be used for automated monitoring of compliance with labor protection requirements and security of technological processes. The developed algorithm of actions for admitting an employee to perform hazardous types of work in accordance with regulatory requirements simplifies the control of his readiness for trouble-free work, reports non-compliance, and advises on a solution. Only joint decisions can change the situation with industrial injuries in Russia, reduce the number of accidents caused by the "human factor", which will undoubtedly lead to an increase in labor productivity.

**Keywords:** occupational safety, injury, danger, risk, training, construction, innovative learning environment, interactive learning modules, "picturesque" reproduction of an accident, psychological causes of injury, information technology, information modeling.

**Введение.** Строительство – одна из самых опасных отраслей во всем мире, где большое количество несчастных случаев приводит к гибели и травмам рабочих, профессиональным заболеваниям, задержкам производства, а также другим прямым и косвенным тяжелым убыткам. Данный факт подтверждается статистикой, где показатели частоты смертельных несчастных случаев в строительстве из года в год остаются на неизменно высоком уровне [1].

Неоспоримой тенденцией современного мира является усиление внимания к человеку на производстве, а безопасный труд становится важнейшей социальной ценностью. В промышленно развитых странах вопросам безопасности в сфере производства и строительства уделяется особенное внимание. В России проблема безопасности труда продолжает оставаться актуальной в настоящее время. Одной из серьезных проблем в системе управления охраной труда в организациях строительного комплекса, является то, что на данный момент она больше построена на принципах реагирования на опасные случаи и ситуации, а не на принципах их профилактики, что не позволяет определять наиболее важные и первостепенные направления профилактической работы по охране труда. Это приводит к разработке большого количества мероприятий и нерациональному распределению, и расходованию средств, выделяемых на охрану труда.

Нельзя не отметить, что нормативно-правовая база в данной сфере в последнее время претерпевает значительные изменения. Так, например, в начале 2018 года в рамках государственной программы «Содействие занятости населения» принята подпрограмма «Безопасный труд» [2], целью которой является минимизация травмоопасных рисков. А в конце 2017 года Россия подписала Меморандум по продвижению Концепции «нулевого травматизма» (*VisionZero*). И «Безопасный труд, и «*VisionZero*» направлены на совершенствование механизма предупреждения производственного травматизма и на создание условий для формирования культуры безопасного труда. В связи с чем, превентивный подход (предупредительно-профилактический) к управлению охраной труда сменяет ранее сформированный «реактивный» подход, в основе которого была реакция на уже произошедший несчастный случай [3]. Но, на сегодняшний день, еще нет четко сформированных методик, инструментов и инструкций по формированию предупредительно-профилактического подхода к управлению охраной труда, поэтому предприятия строительного комплекса испытывают трудности при переходе на новую систему «превентивного подхода».

Из этого следует, что существует широкое поле исследовательской деятельности по развитию и совершенствованию систем управления охраной труда на предприятиях строительной отрасли, а также возможность проведения творческого поиска по решению данной проблемы. Возникает уместный вопрос: какие методы применимы в строительной отрасли для формирования превентивного подхода к управлению

охраной труда?

Здесь уместно вернуться к статистике производственного травматизма, которая показывает, что строительная отрасль остается неизменным лидером по количеству травм, смертей и потерянных человеко-дней. Данная статистика сохраняется вследствие множества причин, среди которых огромное количество сопровождающих строительство опасных факторов, низкий уровень деятельности руководства и организации производственного процесса, несоблюдение или незнание работниками правил охраны труда. При этом, исследованиями определено, что подавляющее большинство травм на строительной площадке происходит по вине «человеческого фактора» (порядка 75-80%) [4-6]. Поэтому, при построении превентивной модели управления охраной труда в организациях строительного комплекса первоочередное внимание необходимо уделить уменьшению влияния «человеческого фактора» на количество травм и смертей.

Наиболее очевидными направлениями «борьбы» с человеческим фактором, по мнению авторов, являются:

1) изменение стратегий и подходов к обучению безопасным методам и приемам выполнения работ персонала на строительной площадке;

2) усиление всестороннего контроля со стороны руководства за соблюдением требований охраны труда как на рабочих местах, так и в процессе допуска к работе.

Оба направления являются, несомненно, важными и перспективными. Поэтому **целью** статьи является рассмотрение подходов к снижению травматизма в строительстве с помощью инноваций в обучении по охране труда, и с помощью новых методов контроля за соблюдением требований по охране труда, основанных на применении *BIM*-технологий.

**Материалы и результаты исследования.** В основной части статьи предлагается поочередно рассмотреть каждый из подходов к снижению травматизма по вине человеческого фактора на строительной площадке.

1. Инновационная интерактивная среда для обучения по охране труда работников строительной отрасли – Полигон «Умный труд».

Занимаясь обучением по охране труда, всегда возникает следующий вопрос: как надо учить работающих, чтобы они соблюдали правила безопасности? Исследование существующих сегодня в России современных методик и программ обучения специалистов строительной отрасли дают ясное представление о том, что фактор психологической подготовки работника в них либо отсутствует, либо крайне слаб. Всё ограничивается доведением до сведения обучающихся случаев травматизма и гибели персонала в виде кратких инструктажей, либо информированием в ходе занятий о причинах травматизма. Таковую информацию работник воспринимает, как косвенную, второстепенную, не относящуюся лично к нему. Это и есть одна из психологических причин по которой работник не на-



страивается на безаварийный труд. Еще одна причина – отсутствие в дидактическом обеспечении учебного процесса такой важной составляющей, как наглядность и практика. Проведённым анализом установлено, что действующая российская система подготовки кадров, которая основывается на привитии чувства опасности вследствие опасного поведения на рабочем месте с помощью традиционных средств обучения, таких как, демонстрация рисунков на плакатах, слайдах, фильмах и устной речи обучающихся, демонстрация на занятиях методов и приёмов работы не даёт достаточного эффекта в представлении последствий опасного поведения в конкретной ситуации. То есть, приёмы обучения последствиям опасного поведения являются традиционными, дающими знания, но при этом не оказывающими достаточного влияния на психику человека в части привития ему чувства опасности [7, 8]. Исходя из вышесказанного следует, что исправление сложившейся ситуации должна дать модернизация образования, в содержание которой будут внесены инновационные изменения и реализован комплексный подход, учитывающий и психологическое воздействие, и воздействие на сознание обучающегося работника.

На сегодняшний день требуются подобные подходы к обучению по охране труда и это признано в научном сообществе, во всем мире на сегодняшний день пропагандируется формирование у работников

промышленной отрасли культуры безопасности или безопасной поведенческой модели, что подтверждается в статьях [9-12]. Безопасная поведенческая модель работника обеспечивает формирование уважительного отношения к своей жизни и своему здоровью, помогает осуществить развитие компетенций по формированию культуры безопасного поведения. Для формирования такой модели поведения, в рамках международного проекта *SAFECON* в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете создана специальная среда обучения по охране труда – Полигон «Умный труд».

Новизна идеи специальной среды обучения заключается в погружении в нее обучающегося, воздействии на его психику и восприятие через наглядные примеры неправильных действий на рабочем месте. Осуществление данной идеи происходит через «живописное» воспроизведение несчастного случая с тяжелым или летальным исходом, представленного в инсталляциях модулей интерактивного обучения (МИО) Полигона «Умный труд». Таких модулей девять, по 9-ти видам строительных работ, примеры представлены на рисунках 1, 2. Наблюдая последствия халатного отношения к безопасности труда через реалистичные сцены в МИО, у обучающегося формируется безопасная поведенческая модель, результатом формирования которой является правильное поведение на рабочем месте, уважительное отношение к своей жизни.

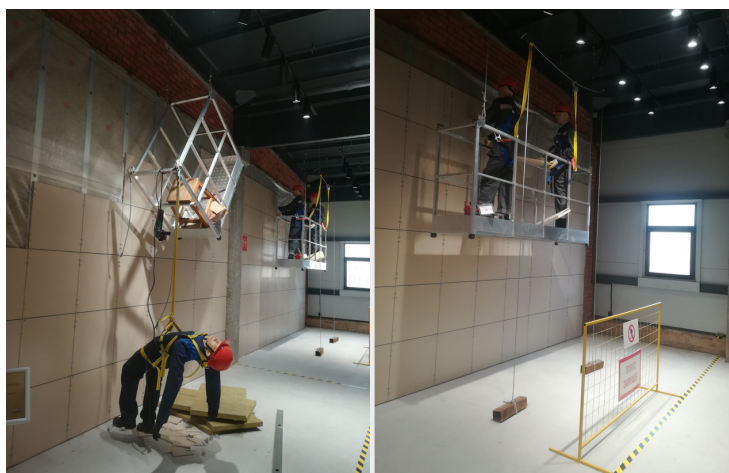


Рисунок 1 – Модуль интерактивного обучения «Работы на высоте с использованием подъемника» Полигона «Умный труд»



Рисунок 2 – Модуль интерактивного обучения «Столярные работы» Полигона «Умный труд»

Для конструирования модулей была проведена масштабная научно-исследовательская работа, включающая анализ травматизма работников строительной отрасли, выезд на строительные объекты с целью идентификации опасностей на конкретных рабочих местах и дальнейшая детальная оценка риска по выявленным опасностям. В модуле представлена травмоопасная ситуация, причиной которой явилась реализовавшаяся опасность с наибольшим индексом

риска [13]. В результате научно-исследовательской работы были спрогнозированы сценарии возникновения опасных ситуаций и несчастных случаев на рабочих местах и, по разработанным сценариям возведены полноразмерные макеты рабочих мест – модули интерактивного обучения.

Что из себя представляет каждый из модулей интерактивного обучения предлагается рассмотреть на примере МИО «Сварочные работы» (рис. 3).

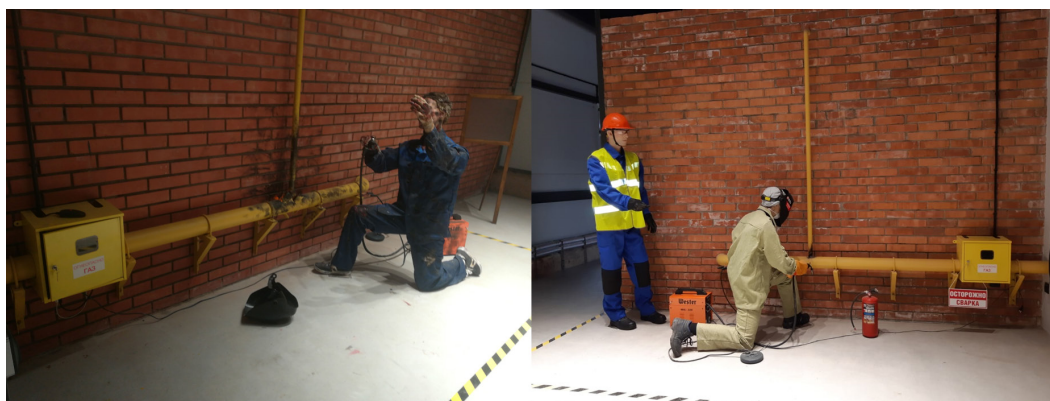


Рисунок 3 – Модуль интерактивного обучения «Сварочные работы» Полигона «Умный труд»

Модуль представляет собой физический объект, который состоит из двух частей, двух инсталляций, одна из которых демонстрирует травмоопасную ситуацию при выполнении конкретного вида работ, в данном случае при вваривании нового участка трубы в действующий газопровод, другая – демонстрацию тех же работ, только в соответствии с требованиями безопасности.

При проектировании данного модуля был разработан следующий сценарий: электросварщик перед началом выполнения работ закрыл вентиль, перекрывающий подачу газа, находящийся на расстоянии 50 м от места выполнения работ. Информационного знака безопасности (предупреждающая табличка «Не включать, ведутся сварочные работы») повешено не было. Вернулся на свое рабочее место и начал выполнение сварочных работ. В это время, другой работник, которому потребовалась подача газа, не зная о том, что ведется сварка, открыл вентиль. Поток газа по трубе возобновился, произошел взрыв, рабочий пострадал, получил сильные ожоги лица, рук и тела. Отсутствовал ответственный руководитель работ, который должен следить за правильностью и безопасностью выполняемой работы.

Подобное представление трагических событий в результате несоблюдения элементарных правил безопасности заложено и в остальных МИО. Такие как, травмоопасная ампутация пальцев верхних конечностей от воздействия острого вращающегося элемента станка (рис. 2), травмирование в результате падения с высоты (рис. 1), проникающее ранение тела твердым объектом при падении на него, придавливание, в результате падения перемещающейся конструкции, электрическая травма (электрический удар) в результате поражения электрическим током. Каждое из

событий имеет свою причину, источником которой является реализовавшаяся опасность, идентифицированная на рабочем месте, при выполнении конкретного вида работ. Таким образом, МИО можно использовать как наглядный инструмент для обучения не только безопасным методам и приемам выполнения строительных работ, но и вопросам охраны труда, решая три задачи процедуры управления рисками [14].

Подводя итог сказанному, стоит отметить, что Полигон «Умный труд» является инновационной средой обучения, направленной на реализацию современной, ориентированной на сохранение жизни и здоровья граждан России, модели охраны труда, которая так активно реализуется на законодательном уровне. Но никакое законодательство, каким бы совершенным оно ни было, не сделает работу человека безопасной, если он сам не будет относиться ответственно к своей жизни и здоровью. Поэтому, только изменив мышление людей возможно уменьшить количество несчастных случаев по вине «человеческого фактора». Необходимо, чтобы работники четко понимали последствия нарушений требований безопасности, какая травма может быть ими получена в результате несчастного случая, какие последствия для здоровья может вызвать данная травма.

На данный момент уже есть реальный результат – построенный Полигон «Умный труд», ведется работа над созданием контента для обучения и ведется тестирование модулей интерактивного обучения. В ходе тестирования планируется получить необходимое количество статистического материала для оценки эффективности такого метода снижения случаев травматизма на рабочих местах строителей.

2. Контроль за допуском работников к самостоятельному выполнению технологических процессов с

применением информационных технологий.

Эффективное планирование безопасности и анализ опасностей являются важной предпосылкой для предотвращения несчастных случаев. Традиционные методы управления безопасностью в строительной отрасли, в основном, являются ручными, трудоемкими, избирательными и, следовательно, неэффективными и подверженными ошибкам [15]. Например, программы обучения по безопасности, основанные на инструктажах, по-прежнему полагаются на ручные наблюдения для сбора данных о небезопасном поведении. Такого рода наблюдениями и проверками трудно охватить всю площадку с действующими процессами и контролировать абсолютно всех рабочих. Кроме того, бумажные системы идентификации опасностей препятствуют своевременному информированию о рисках. Из-за размера и сложности строительных проектов специалистам по безопасности, обладающим значительным опытом и знаниями, также очень трудно быть в курсе всех небезопасных ситуаций в режиме реального времени [16].

В современном мире информационное моделирование увеличивает производительность и объем производства, при этом уменьшая нерациональный расход ресурсов (время, деньги, материалы и т.д.) и

оптимизируя технологические рабочие процессы.

Используя данный подход к вопросу контроля обучения по охране труда, своевременная организация которого безусловно влияет на количество несчастных случаев на строительной площадке, снижая число травм, становится возможным сократить время для проверки всех требований по допуску работника до технологического процесса. Такой подход не только ускорит рабочие процессы, но и выявит достаточно ли квалифицирован работник для данного вида операции, прошел ли он требуемую подготовку перед началом работ и т.д.

Задача – разработать основу для автоматизированного мониторинга за обучением по технике безопасности и охране труда на строительной площадке с последующей выдачей рекомендаций по устранению несоответствий конечной цели.

В качестве примера возьмем требования к рабочим местам сварщика 4 разряда. На рисунке 4 представлена структурированная схема требований, основанная на Приказе Минтруда России № 883н от 11 декабря 2020 г. «Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте», исходя из которой становится возможным создание алгоритма для внедрения в ВМ [17].

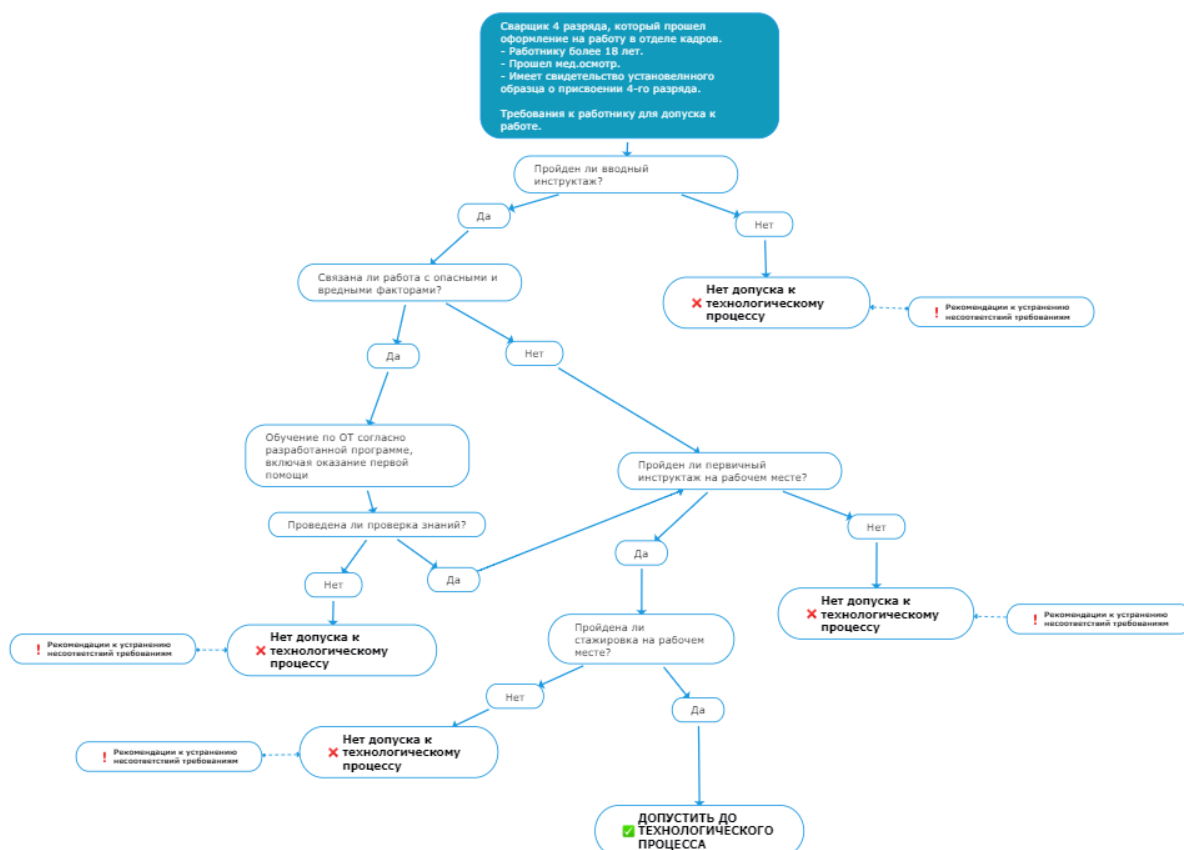


Рисунок 4 – Схема допуска до технологического процесса

Благодаря данным, взятым при устройстве на работу, становится возможным за секунды отслеживать допущен ли работник до строительного производства или ему требуется пройти очередной инструктаж. При несоответствии работка требованиям, система выдаст

сигнал, запрещающий допускать человека к работе до устранения расхождений от заданного пути. При каждом запрете система так же выдаст рекомендации для исправления ситуации в соответствии с нормативными требованиями и установленными сроками



календарного графика. Представленная схема является лишь частью сложной системы, а наборы данных могут быть частью более крупных баз данных для обнаружения нарушений техники безопасности на территории всей строительной площадки.

В дальнейшем применение алгоритма, основанного на представленной структурированной схеме, даст возможность анализировать, выявлять, оценивать и предотвращать несоответствия требований к работникам для допуска к технологическим строительным процессам.

**Заключение.** Обучение – один из основополагающих факторов, влияющих на сохранение здоровья работников строительной отрасли. Предполагается, что использование площадки Полигона «Умный труд» позволит изменить ситуацию с производственным травматизмом в строительной отрасли России – снизит количество несчастных случаев по вине «человеческого фактора» за счет сформировавшейся в результате обучения безопасной поведенческой модели работников. Также, должная организации обучения и постоянное отслеживание прохождений всех требуемых инструктажей с использованием информационных технологий будет способствовать минимизации количества возможных несчастных случаев на объекте, при этом сам процесс контроля займет доли секунды. Востребованность данных исследований подтверждена активной поддержкой со стороны правительства Санкт-Петербурга, образовательных учреждений и строительных организаций Северо-запада РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Росстат: статистика производственного травматизма в Российской Федерации. Обобщенные данные URL: <https://www.trudcontrol.ru/press/statistics/24076/rosstat-statistika-proizvodstvennogo-travmatizma-v-rossiyskoy-federacii-obobshennie-dannie> (дата обращения: 15.04.2021).
2. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 298 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Содействие занятости населения» // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 03.04.2021).
3. 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.
4. Rita Yi Man Li Construction safety informatics // Singapore Springer, 2019. 144 p.
5. Duryan M. Knowledge transfer for occupational health and safety: Cultivating health and safety learning culture in construction firms // Accident analysis and prevention. 2020. Volume 139; pp 13-17.
6. Albert A. Developing hazard recognition skill among the next-generation of construction professionals // Construction management and economics. 2020. Volume 38: Number 11; pp 1024-1039
7. 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.
8. Официальный сайт проекта «SAFECON» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://safecon.fi.ru/>. (дата обращения 05.03.2021)
9. 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. Volume 50: Part 1; pp 26-30
10. Jia A.Y., et al., 2017. Institutions and institutional logics in construction safety management: the case of climatic heat stress. Construction management and economics, 36 (6), 338–367.
11. Antonsen S., 2009. Safety culture and the issue of power. Safety science, 47, 183–191.
12. Sherratt F., Farrell P., Noble R., 2013. UK construction site safety: discourses of enforcement and engagement. Construction management and economics, 31 (6), 623–635.
13. Гончарук Т. Н. 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.
14. Приказ Минтруда России (Министерство труда и социальной защиты РФ) от 19 августа 2016 г. № 438н «Об утверждении типового положения о системе управления охраной труда».
15. Нам Г.Е., Георгиади В.В. BIM-моделирование как инструмент внедрения принципов ОН&S в строительство // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. Материалы III Междунар. науч.-прак. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 87–95.
16. Brian H.W. Guo, Yang Zou, Yihai Fang, Yang Miang Goh, Patrick X.W. Zou. Computer vision technologies for safety science and management in construction: A critical review and future research directions // Safety Science. 2021. № 135.
17. Приказ Минтруда России № 883н от 11 декабря 2020 г. «Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573191722> (дата обращения 27.02.2021).

*Статья поступила в редакцию 10.05.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 614.842.61

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0042

## ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ НА СКЛАДАХ СУГ И СПГ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

© 2021

**Пелех Михаил Теодозиевич**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института  
**Симонова Марина Александровна**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института  
*Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого*  
*(195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,*  
*e-mails: peleh\_mt@spbstu.ru, simonova\_ma@spbstu.ru)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены аварийные ситуации на складах СПГ и СУГ, описана возможность каскадного развития аварии. Представлен анализ возможности повреждения технологического оборудования складов. Рассматриваются существующие системы обнаружения утечек при авариях и мониторинга температуры. Проведен анализ имеющихся методов тушения пожаров и применяемых огнетушащих веществ на складах хранения СУГ и СПГ, и совершенствование методов локализации и ликвидации горения СУГ и СПГ с учетом низких температур в районах Крайнего Севера. Приводятся основные недостатки применяемых методов тушения пожаров при проливах топлив, в том числе криогенных. Рассматривается возможность совершенствования методов локализации и ликвидации горения СУГ и СПГ с учетом низких температур в районах Крайнего Севера без применения огнетушащих составов на основе воды. Предложена возможность локализации и ликвидации пожара применением пористых материалов с размером пор меньше максимального безопасного экспериментального зазора, а также систем аварийного слива с использованием огнепреградителя с конструкцией теплообменных устройств, обеспечивающих локализацию пламени в течение длительного периода времени. Применение представленных решений позволит повысить эффективность тушения пожаров и обеспечить безопасность складов СУГ и СПГ.

**Ключевые слова:** тушение пожаров, СУГ, СПГ, сжиженные газы, система многополосного аварийного слива, система предотвращения пожара СПГ с использованием пористых материалов.

## FEATURES OF LOCALIZATION AND ELIMINATION OF FIRES IN LPG AND LNG WAREHOUSES IN RESERVOIRS IN THE ARCTIC ZONE

© 2021

**Pelek Mikhail Teodozievich**, candidate of technical sciences, associate professor,  
associate professor of the Higher School of Technosphere Safety of the Civil Engineering Institute  
**Simonova Marina Aleksandrovna**, candidate of technical sciences, associate professor,  
associate Professor of the Higher School of Technosphere Safety of the Civil Engineering Institute  
*St. Petersburg Polytechnic University Peter the Great*

*(195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29, e-mails: peleh\_mt@spbstu.ru, simonova\_ma@spbstu.ru)*

**Abstract.** The article considers emergency situations in LNG and LPG warehouses, describes the possibility of cascade development of the accident. An analysis of the possibility of damage to the process equipment of warehouses is presented. Existing accident leak detection and temperature monitoring systems are considered. An analysis of existing fire fighting techniques and fire extinguishing agents in LPG and LNG storage facilities has been carried out, and methods for localizing and eliminating LPG and LNG combustion have been improved, taking into account low temperatures in the Far North. The main disadvantages of the applied methods of fire extinguishing in case of fuel spills, including cryogenic ones, are given. The possibility of improving LPG and LNG combustion containment and elimination methods in view of low temperatures in the Far North without the use of water-based fire extinguishing compositions is being considered. The possibility of fire localization and elimination with the use of porous materials with pore size less than the maximum safe experimental gap, as well as emergency drain systems using a fire retardant with the design of heat exchange devices ensuring flame localization for a long period of time is proposed. The application of the presented solutions will increase the efficiency of fire fighting and ensure the safety of LPG and LNG warehouses.

**Keywords:** fire extinguishing, LPG, LNG, liquefied gases, multi-lane emergency discharge system, LNG fire prevention system using porous materials.

**Введение.** Мировая практика знает много случаев, когда из-за аварийных ситуаций на объектах топливно-энергетического комплекса (ТЭК) случались пожары и взрывы, сопровождающиеся с массовой гибелью людей и значительными материальными потерями.

Одна из самых крупных по последствиям аварий произошла при взрыве газобензиновой смеси 4 июня 1989 года в Иглинском районе Башкирской АССР [1]. Произошло локальное повреждение трубы продуктопровода «Западная Сибирь – Урал – Поволжье». После падения давления в трубопроводе, увеличена

подача газа для восстановления давления. Газобензиновая смесь тяжелее воздуха, поэтому газ скопился в низине, в 900 м от Транссибирской железнодорожной магистрали и при прохождении через этот участок двух пассажирских поездов, произошел взрыв унесший жизни 575 человек, из них 181 ребенка, травмы получили порядка 600 человек.

10 августа 2020 года произошел взрыв и пожар на автомобильной газозаправочной станции города Волгоград [2]. Взрывная волна сотрясла дома, а в небо взметнулся огромный столб огня. Причиной стало возгорание трубопровода автоцистерны, сбрасывающего в атмосферу избыточное давление, во время пополнения хранилища.

12 июня 2020 года на Казанской кустовой базе ООО «Газпром сжиженный газ» при сливе жидкой фазы сжиженного углеводородного газа из железнодорожных цистерн в стационарные произошло возгорание и последующий взрыв [3]. При этом произошло разрушение здания операторной, один человек погиб, двое травмированы.

Россия, бесспорно, входит число стран, которые лидируют по добыче и транспортировке горючих газов, и, конечно же, не приходится рассчитывать на то, что наряду с наращиванием объемов экспорта газа будет происходить снижение аварий на объектах ТЭК. Так по данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [4] Федеральный государственный надзор на объектах нефтегазодобывающей промышленности осуществляется в отношении 8019 опасных производственных объектов нефтегазодобычи. Распределение по классам опасности представлено на рисунке 1.

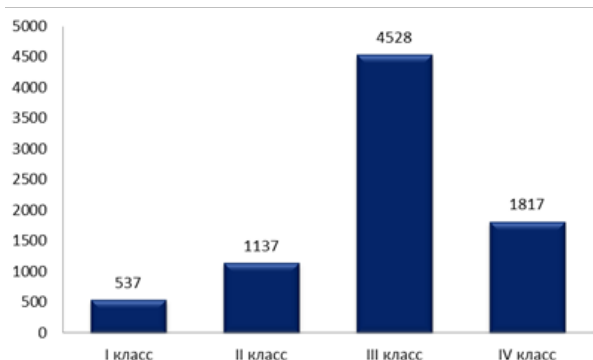


Рисунок 1 – Распределение объектов различных классов опасности в Российской Федерации в 2021 году

За 6 месяцев 2020 года на объектах нефтегазодобывающей промышленности произошло 3 аварии, 6 человек травмировано в результате несчастных случаев, из них смертельно – 5 человек. По результатам проведенных в I полугодии 2020 года проверок было выявлено 2634 нарушения требований промышленной безопасности.

На сегодняшний день, практически отсутствуют методы тушения пожаров, в том числе в районах Крайнего Севера, особенно при разливах больших объемов сжиженных углеводородных газов (СУГ) и

сжиженных природных газов (СПГ).

Согласно Своду правил «Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности» [5] запас воды на таких объектах для обеспечения работы системы противопожарного водоснабжения рассчитывается из условия обеспечения максимальной потребности в воде в течение времени не менее 6 часов, что практически невозможно для районов Крайнего Севера.

Анализируя технологические схемы, описывающие основное оборудование и технологический процесс на складах СУГ и СПГ можно сделать вывод о том, что в резервуарах, технологических трубопроводах и другом технологическом оборудовании отсутствует свободный объем, т.к. весь объем оборудования заполнен паровой фазой в концентрациях, во много раз превышающих верхний концентрационный предел распространения пламени. Поэтому возникновение пожаров, как правило, локализовано вне технологического оборудования. Причинами выхода вышеуказанных веществ из технологического оборудования, в основном, является утечка во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения и транспортировки [6], а также при повреждениях и через неплотности фланцевых соединений [7].

Повреждения аппаратов и трубопроводах в условиях низких температур, характерных для Арктической зоны, возникают из-за повышения хрупкости конструкционных сталей и растрескивания и уменьшения адгезионных характеристик прокладочных материалов фланцевых соединений. Местами возникновения являются ослабленные элементы конструкции, например сварные соединения или узлы установки контрольной и запорной арматуры.

Влияние также оказывает неожиданное тепловое напряжение на металлической конструкции, когда СПГ вступает в контакт с ней. Вызванное тепловое напряжение может сочетаться с другим рабочим напряжением, вызывая в системе аномально высокие уровни напряжения, а небольшие трещины или дефекты конструкции могут быстро образовываться в условиях повышенного напряжения. Это может привести к полному разрушению конструкции. В исследования [8] показано, что случайный выброс СПГ не вызывает быстрого образования трещин, однако оказывает значительное влияние на срок службы конструкции.

Существует вероятность возникновения каскадных сценариев, например выброса углеводородов, пожара, взрыва и рассеивания продуктов сгорания. Последствия таких сценариев в совокупности могут быть более серьезными, чем их индивидуальное воздействие [9].

Для мониторинга состояния технологического оборудования и своевременного обнаружения утечек возможно использование комплексной аналитической системы. Такая система может состоять из размещенных на площадке газоанализаторов, оценивающих наличие СПГ и СУГ в воздухе, а также система температурного мониторинга состояния технологического

оборудования. В настоящее время оценивают наличие источников тепла внутри резервуаров с СПГ и СУГ. Однако представляется целесообразным мониторинг температурных полей снаружи оборудования. По очагу изменения температуры возможно установить источник истечения СПГ и СУГ.

В последние годы, в связи с ростом спроса на сжиженный природный газ (СПГ) во всем мире, большое количество СПГ хранится, обрабатывается и транспортируется в портах. Резервуары для хранения СПГ в порту могут стать мишенью для террористических атак, потому что выход из строя или разрушение этих объектов подвергнет рынки, города и окружающую среду высокому риску [10].

Все выше сказанное говорит об актуальности темы, связанной с тушением пожаров на складах СУГ и СПГ в районах Крайнего Севера.

**Целью** работы является анализ имеющихся методов тушения пожаров и применяемых огнетушащих веществ на складах хранения СУГ и СПГ, и совершенствование методов локализации и ликвидации горения СУГ и СПГ с учетом низких температур в районах Крайнего Севера.

В данной статье будут рассмотрены методы тушения сжиженных газов, их достоинства и недостатки, в том числе при тушении подобных пожаров при отрицательных температурах, ведь в Арктической зоне температура окружающей среды достигает минус 60°C.

**Материалы и результаты исследования.** В ходе данного исследования были использованы: метод анализа литературных источников; метод моделирования и метод синтеза. Метод анализа литературных источников позволяет проанализировать нормативные документы, из которых будет сделан вывод о целесообразности применения тех или иных методов и средств пожаротушения. Метод моделирования позволяет смоделировать технические устройства для ограничения распространения пожара. В завершении исследовательской работы будет использован метод синтеза, который позволит объединить полученную информацию, имеющийся опыт, связанный с тушением пожаров и сделать выводы о результатах исследования.

Для тушения пожаров СУГ в соответствии с «Рекомендациями по обеспечению пожарной безопасности объектов хранения и переработки СУГ» [11] применяются: порошки, газообразный и жидкий азот, газообразная и жидкая двуокись углерода, инертные газы (*He, Ar, Kr*), хладоны, распыленная вода, водяной пар, воздушно-механическая пена средней кратности на основе специальных синтетических пленкообразующих пенообразователей, а также комбинированные их составы.

В основу методов тушения пожаров СУГ и СПГ заложены принципы тушения легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). Так в работе [12] рассматривались типы резервуаров, для хранения нефтепродуктов, а также способы тушения пожаров на резервуарах

с ЛВЖ. К таким способам тушения ЛВЖ относятся применение: воздушно-механической пены низкой и средней кратности (тушение на поверхности жидкости и «подслоное» тушение), в том числе подачи самовспенивающейся газоаэрозоленеполненной пены, получаемой с использованием твердотопливных генераторов давления; установок газового пожаротушения с использованием модулей изотермических для жидкой двуокиси углерода; автоматических установок газопорошкового пожаротушения. Также в работе рассмотрены проблемные вопросы, связанные с локализацией и ликвидацией горения ЛВЖ в условиях низких температур.

Хотелось бы отметить, что разлив сжиженного газа происходит на значительную площадь, что связано с его низкой плотностью. Для защиты от растекания может применяться обвалование, защитные стенки и т.п. А при кваземгновенном разрушении резервуара площадь растекания сжиженного газа может составить несколько десятков тыс.кв.м. Соответственно суммарная массовая скорость испарения возрастет в разы с увеличением площади испарения.

В работах [13], [14] рассмотрена возможность тушения сжиженных газов с применением воздушно-механических пен. Эффект тушения пенами достигается за счет снижения температуры поверхностного слоя горячей жидкости и его изоляции.

При рассмотрении физико-химических свойств основных компонентов сжиженных газов мы видим, что температура кипения метана, этана, пропана, этилена и пропилена меньше минус сорока градусов. В условиях Крайнего Севера при возникновении аварийных ситуаций при температуре окружающей среды ниже нуля градусов объемная температура сжиженных газов отрицательная. При этом пена – это смесь воды с пенообразователем, подача которых возможна только при температуре выше пяти градусов Цельсия. Поэтому если рассматривать систему взаимодействия пена-СУГ, можно отметить, что температурный градиент направлен от менее нагретых СУГ в сторону пены, что в общем случае приведет к повышению интенсивности испарения. Исследования возможности применения водовоздушной пены средней кратности на основе синтетического углеводородного пенообразователя для ликвидации проливов и пожаров СУГ и СПГ показали, что при подаче пены на поверхность сжиженного газа, на границе разделения фаз образуется третья твердая фаза – лед, при этом лед обладает высокой пористостью. Так как, под влиянием различных факторов (изменение температуры, поверхностного натяжения, воздействие давления насыщенных паров, «старение» пены и т.п.) пене свойственно разрушаться, это приводит к увеличению толщины ледяного слоя. При этом пена, охлаждаясь, выделяет тепло как в направлении СПГ или СУГ, так и в окружающую среду. При этом большая часть теплового потока пойдет в ту сторону, температура которой ниже. Таким образом, тепловой поток, проходящий через слой льда, будет направлен в сторону жидкой фазы газа.

С одной стороны пена обладает газоизолирующей способностью двухслойного препятствия на пути прохождения паров сжиженного газа в зону горения. С другой стороны, по законам молекулярной диффузии поток холодного горючего газа частично проходя через пористую ледяную подложку, будет поступать в зону горения. А здесь, как раз и наступает момент, когда происходит ликвидация горения. Как и в слое ледяной подложки, так и в пенном слое идет насыщение газа, по мере увеличения слоя пены концентрация паров горючего газа над ее поверхностью будет снижаться, тем самым проникновения паров в зону горения будет уменьшаться. Регулируя толщину пены можно организовать управляемое горение пены.

Основным недостатком тушения пожаров будет являться значительное время на управляемый режим ликвидации подобных аварий, и требовать привлечения огромных сил и средств, в том числе значительного запаса пенообразователя и воды, что в условиях Крайнего Севера сделать это практически невозможно.

В рекомендациях [15] в качестве наиболее эффективных научно-обоснованных технических решений по повышению пожарной безопасности объектов малотоннажного хранения и распределения СПГ предлагаются следующие технические решения по обеспечению и повышению пожарной безопасности объектов малотоннажного хранения и распределения сжиженного природного газа:

- использование пористых материалов с размером пор меньше максимального безопасного экспериментального зазора (рис. 2);
- использование защитных водо пленочных экранов в пределах ограждения резервуара (рис. 3);
- защитные водяные завесы.

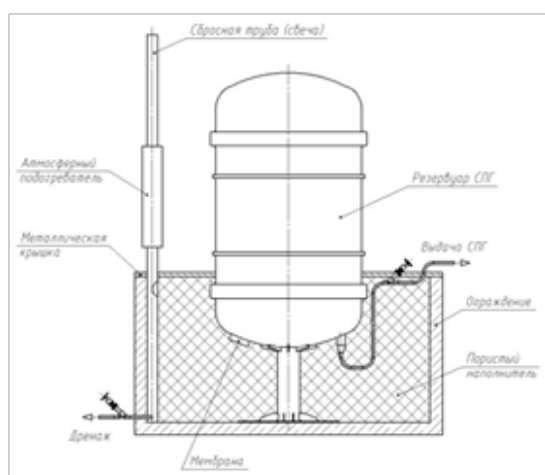


Рисунок 2 – Применение пористых материалов с размером пор меньше максимального безопасного экспериментального зазора

Стационарная система предотвращения пожара СПГ, пролитого в пределах ограждения резервуара, с использованием пористых материалов с размером пор меньше максимального безопасного эксперимен-

тального зазора предназначена для вертикальных резервуаров СПГ с арматурой, размещенной в нижней части резервуара. Наибольшую опасность представляет нижняя часть резервуара, которая должна располагаться внутри защитного ограждения и закрываться крышей из негорючего газонепроницаемого материала (рис. 2), оснащенной системой газосброса (дренажной трубой), рассчитанной из условия сброса и эффективного рассеивания паров СПГ, при этом внутренний объем между крышей и ограждением должен заполняться пористым материалом. В качестве пористого материала могут быть использованы строительные негорючие теплоизоляционные материалы, имеющие размеры пор меньше максимального безопасного экспериментального зазора. Кроме того, организованный сброс газа, с использованием данного способа, позволяет существенно снизить опасность загазованности окружающего пространства. Однако с точки зрения технологического обслуживания емкости данный способ вызывает трудности с визуальным осмотром, а также проведения ремонта в случае необходимости, так как необходимо будет демонтировать пористый материал, а именно как с временными, так и финансовыми затратами.

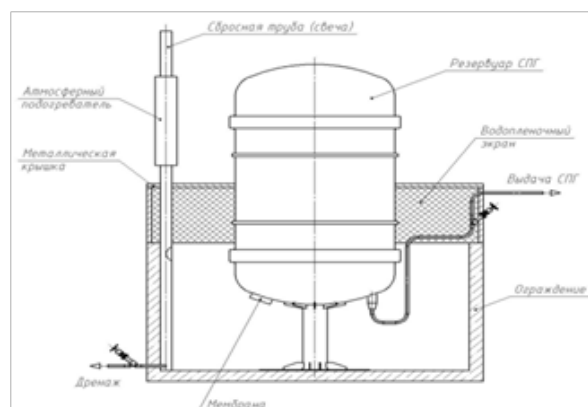


Рисунок 3 – Принципиальная схема системы предотвращения пожара СПГ, базирующейся на использовании защитных водо пленочных экранов

Система предотвращения пожара СПГ, пролитого в пределах ограждения резервуара с использованием защитных водо пленочных экранов предназначена для предотвращения пожара СПГ, пролитого в пределах ограждения резервуара. Внутри защитного ограждения располагается нижняя часть резервуара, по верхней кромке которого устанавливается сплошной по периметру защитный водо пленочный экран. Защитный водо пленочный экран выполняется в виде двух закрепленных между собой с зазором поверхностей, выполненных из металлических сеток. В зазоре между сетками устанавливаются форсунки. При аварийном истечении СПГ по сигналу газоанализаторов на сеточных поверхностях образуется сплошная пленка из жидкости, что делает эти поверхности непроницаемыми для проникновения сквозь них газов и паров. При этом парогазовое облако локализуется внутри защищаемого объема. Для образования сплошной



пленки из жидкости, непроницаемой для газов и паров следует подавать воду с давлением не менее 0,3 МПа при расходе не менее 0,08 л/сек на 1 кв.м сеточной поверхности.

Защитная водяная завеса может использоваться для разбавления горючих газов после утечки, чтобы снизить риск взрыва горючего газа [16].

Основной недостаток данного способа, как и применение защитных водяных завес, для борьбы с загазованностью, заключается в применении воды, что в условиях низких температур может привести к отказу работы оборудования.

Согласно [5] на изотермических резервуарах для тушения СУГ рекомендуется применять сухие порошки на базе бикарбоната натрия или бикарбоната калия. В работе [17] рассматривалось тушение сжиженных газов гидроксидом магния ( $Mg(OH)_2$ ), бикарбонатом натрия ( $NaHCO_3$ ) и коммерческими порошками ABC – MAP, а также влияние дисперсности порошка на эффективность тушения огня. Автоматическими установками порошкового пожаротушения должны оснащаться места возможных утечек СУГ (зоны размещения штуцеров, клапанов, оборудования рабочих площадок, мест установки отсекающей и другой арматуры, насосная станция). Также возможно применение газового пожаротушения.

Тушение СУГ и СПГ вышеописанными способами осуществляется подачей огнетушащего вещества в очаг горения. При этом происходит выброс в зону горения большого количества огнетушащих веществ и локализовать очаг горения как правило затруднительно из-за постоянной подпитки зоны горения. При этом подача ОТВ в зону горения сразу приводит к потере эксплуатационных характеристик газов, а следовательно, к большому экономическому ущербу. В случае применения газового тушения в связи с особенностями конструктивного исполнения резервуаров необходим огромный расход огнетушащего газа.

Применение огнепреградителей на системах аварийного слива позволяет снизить риск распространения пожара в аварийную емкость. Однако, в настоящее время исследования характеристик огнестойкости огнепреградителей в мире в основном сосредоточены на изучении закона распространения пламени при определенных условиях с отсутствием систематических исследований их огнестойкости [18, 19].

Для локализации и ликвидации горения сжиженных газов возможно применение комбинированной системы аварийного слива. Эффект тушения должен достигаться за счет применения многополосной системы слива с применением огнепреграждающего устройства с системой охлаждения. Температура при горении метана может достигать 2065°C, а это может привести к кипению и быстрому испарению сжиженного газа. Поэтому на входе в систему аварийного слива требуется предусмотреть кассетный огнепреградитель с теплообменным устройством, использование которого позволяет охлаждать СУГ и обеспечить теплоотвод от пламегасящего элемента и корпуса ог-

непреградителя, предложенный в работе Хорошилова О.А. [20] (рис. 4), а также гидравлический затвор.

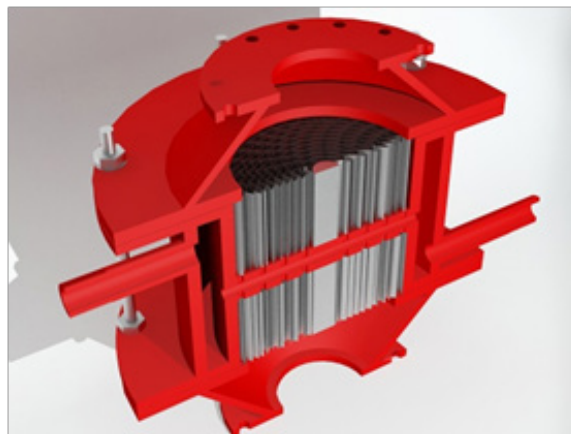


Рисунок 4 – Огнепреградитель с теплообменным блоком в разрезе

Также исходя из исследования протекания процессов истечения СУГ и СПГ через отверстия кажется целесообразной разработка системы предотвращения взрыва для резервуаров с вертикальными стенками на основе применения импульсных установок подачи ОТВ в зону возникновения локальных повреждений, устанавливаемых по изменению температуры стенки резервуара.

Изменение температуры на поверхности резервуара можно найти из соотношения:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

где  $T_1$  – температура в резервуаре, К  
 $T_2$  – температура окружающей среды, К  
 $P_1$  – давление в резервуаре, кПа  
 $P_2$  – давление окружающей среды, кПа  
 $k$  – показатель адиабаты газа

Исходя из вышеуказанного соотношения можно сделать вывод о том, что при хранении газов при давлении около 150 МПа и температуре 293 К температура газа на выходе из резервуара составит 54 К. Эта ситуация характерна для идеального истечения газа. Однако при истечении СУГ будет происходить незначительное повышение температуры в данной зоне за счет протекания процессов испарения и теплообмена с окружающей средой. При этом такое падение температуры на поверхности резервуара возможно зафиксировать средствами температурного дистанционного контроля. Такая система позволит своевременно обнаружить зону утечки и принять необходимые организационно-технические мероприятия.

Горение СПГ и чаще всего характеризуется факельным характером с отрывом факела от стенки резервуара на некоторое расстояние, зависящее от давления газа в резервуаре. В настоящее время повсеместно внедряются роботизированные комплексы по локализации и ликвидации горения. И в связи с этим представляется целесообразной разработка и внедрение комплекса импульсного пожаротушения. В системах импульсного пожаротушения предлагается использо-

вать огнетушащие вещества, которые распыляются и метаются в очаг пожара с помощью энергии либо пневмоимпульса, либо взрыва заряда взрывчатого вещества вдоль стенки резервуара в зону факельного горения. Именно использование энергии импульса добавляет к механизмам прекращения горения используемых обычных огнетушащих веществ эффект механического срыва пламени, что приводит к резкому повышению огнетушащей эффективности.

**Заключение.** Тушение сжиженных газов даже в нормальных условиях вызывает ряд трудностей, так как газы горят при высоких температурах, и поэтому испарение происходит в десятки раз быстрее по сравнению с жидкостями. В районах Крайнего Севера, когда отрицательная температура окружающей среды сохраняется почти круглый год, применение огнетушащих составов на основе воды или водных растворов затруднено, поэтому предпочтение отдается методам локализации и ликвидации горения СУГ и СПГ без применения огнетушащих составов, таких как использование пористых материалов с размером пор меньше максимального безопасного экспериментального зазора, и система аварийного слива с использованием огнепреградителя с конструкцией теплообменных устройств, обеспечивающих локализацию пламени в течение длительного периода времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Крупнейшая железнодорожная катастрофа в истории СССР: Трагедия под Уфой | Крупнейшие катастрофы | Яндекс Дзен [Электронный ресурс]. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5ad47a2100b3dd0ec8010315/krupneishaia-jeleznodorojnaia-katastrofa-v-istorii-sssr-tragediia-pod-ufoi-5ac36a9200b3dd64a60ebfd7> (дата обращения: 8.03.2021).
2. СК показал последствия взрыва и пожара на газовой заправке в Волгограде - Росбалт [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosbalt.ru/russia/2020/08/13/1858419.html> (дата обращения: 8.03.2021).
3. «Мы были как бы не готовы...»: три причины взрыва, едва не погубившего пол-Казани [Электронный ресурс]. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/481782> (дата обращения: 8.03.2021).
4. Доклады о правоприменительной практике контрольно-надзорной деятельности в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosnadzor.ru/public/law/enforcement/> (дата обращения: 8.03.2021).
5. Приказ МЧС России от 20 августа 2015 г. № 452 "Об утверждении свода правил "Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности" [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71088982/#review> (дата обращения: 8.03.2021).
6. Bariha N., Srivastava V.C., Mishra I.M. Theoretical and experimental studies on hazard analysis of LPG/LNG release: A review. № 4(33)Walter de Gruyter GmbH, 26.07.2017.
7. Xiaoqin S., Xin Z. Tests and studies on pressurized LNG leakage and dispersion // IGT International Liquefied Natural Gas Conference Proceedings. 2019. (2). С. 791–803.
8. Baalisampang T., Khan F., Abbassi R., Garaniya V. Methodology to analyse LNG spill on steel structure in congested marine offshore facility // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2019. (62). DOI:10.1016/j.jlp.2019.103936.
9. Baalisampang T., Abbassi R., Garaniya V., Khan F., Dadashzadeh M. Modelling an integrated impact of fire, explosion and combustion products during transitional events caused by an accidental release of LNG // Process Safety and Environmental Protection. 2019. (128). С. 259–272. DOI:10.1016/j.psep.2019.06.005.
10. Zhu R., Hu X., Bai Y., Li X. Risk analysis of terrorist attacks on LNG storage tanks at ports // Safety Science. 2021. (137). DOI:10.1016/j.ssci.2021.105192.
11. Рекомендации. Обеспечение пожарной безопасности объектов хранения и переработки СУГ [Электронный ресурс]. URL: [https://www.studmed.ru/rekomendacii-obespechenie-pozharnoy-bezopasnosti-obektov-hraneniya-i-pererabotki-sug\\_7d285360090.html](https://www.studmed.ru/rekomendacii-obespechenie-pozharnoy-bezopasnosti-obektov-hraneniya-i-pererabotki-sug_7d285360090.html) (дата обращения: 8.03.2021).
12. Пелех М.Т., Симонова М.А. Проблемные вопросы при тушении пожаров на резервуарах в арктической зоне // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2019. № 2. С. 47–51.
13. Проблемы пожаровзрыво-безопасности СУГ и СПГ: тушить нельзя купировать! | Secuteck.Ru [Электронный ресурс]. URL: <http://secuteck.ru/articles2/firesec/problemypozharovzryvo-bezopasnosti-sug-i-spg-tushit-nelzya-kupirovat> (дата обращения: 8.03.2021).
14. Hurley M.J., Gottuk D., Hall J.R., Harada K., Kuligowski E., Puchovsky M., Torero J., Watts J.M., Wiecek C. SFPE handbook of fire protection engineering, fifth edition Springer New York, 2016. 1–3493 с. ISBN:9781493925650.
15. Пожаробезопасное применение малотоннажных установок хранения и распределения сжиженного природного газа. Рекомендации. Москва, 2013. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.norm-load.ru/PB/INF\\_DND/5781/metodik/SPG/1-5.htm](http://www.norm-load.ru/PB/INF_DND/5781/metodik/SPG/1-5.htm) (дата обращения: 8.03.2021).
16. Zhou Y., Chen C., You J. Research on Simulation Test of Water Curtain Suppression of Liquefied Nature Gas Leakage // Petrochemical Equipment. 2020. № 5(49). С. 1–8. DOI:10.3969/j.issn.1000-7466.2020.05.001.
17. Ibrahim H., Patruni J.R. Experimental assessment on LPG fire extinguishing properties of three chemical powders before and after milling action // Fire and Materials. 2020. № 5(44). С. 747–756. DOI:10.1002/fam.2853.
18. Wang Y.N., Wang Z.R., Ma W.D., Ye Y.J., Liu C.P., Chen W.T. Development of Fire Resistance Performance Test System for Oil Gas Pipeline Flame Arrester // Petrochemical Equipment. 2020. № 2(49). С. 17–22. DOI:10.3969/j.issn.1000-7466.2020.02.004.
19. Mahuthannan A.M., Damazo J.S., Kwon E., Roberts W.L., Lacoste D.A. Effect of propagation speed on the quenching of methane, propane and ethylene premixed flames between parallel flat plates // Fuel. 2019. (256). DOI:10.1016/j.fuel.2019.115870.
20. Хорошилов О.А. Методологические и нормативные основы конструирования, испытания и эксплуатации промышленных огнепреградителей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. 2011.

*Статья поступила в редакцию 30.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 614.841

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0043

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗГОРАНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

© 2021

**Нарусова Елена Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент

кафедра «Управление безопасностью в техносфере»

**Стручалин Владимир Гайзович**, кандидат технических наук, доцент

кафедра «Управление безопасностью в техносфере»

**Назина Наталья Сергеевна**, студент

*Российский университет транспорта*

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9,

*e-mails: e.narusova@ubt-rut-miit.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, natalya.oschckina@yandex.ru*)

**Аннотация.** Протяженность перегонов между станциями на сети железных дорог России и плотный график движения поездов являются причиной высокой актуальности пожарной безопасности тягового подвижного состава. Начавшийся процесс горения развивается стремительно из-за высокой пожарной нагрузки тепловозов и электровозов. Последствия возгорания локомотива на перегоне вдали от населенных пунктов усложняются необходимостью длительного времени для прибытия пожарной команды, возможностью перехода огня на соседние вагоны, что может привести к развитию чрезвычайной ситуации в зависимости от вида перевозимых грузов. При перевозке опасных грузов такой пожар может привести к катастрофическим последствиям. В этом случае экономический ущерб существенно превысит величину прямого материального ущерба от пожара локомотива. Анализ проведенных исследований возгораний в период 2018-2020г.г. показывает, что наибольшее количество причин пожаров тепловозов и электровозов являются следствием низкого качества проведенных ремонтных работ и недостатков технического обслуживания тягового подвижного состава. В статье сформирован список возможных причин пожаров и пожароопасных узлов для различных серий тепловозов и электровозов с использованием причинно-следственной диаграммы Исикавы и анализа Парето. Разработаны контрольно-оценочные карты для определения фактического состояния локомотива. Сделан вывод о необходимости динамического контроля технического состояния тягового подвижного состава и повторного расчета пожарных рисков после проведенного ремонта для определения эффективности противопожарных мероприятий.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, возгорание локомотива, тяговый подвижной состав, контрольно – оценочные карты, динамический контроль.

## ANALYSIS OF THE CAUSES OF FIRE OF TRACTION ROLLING STOCK

© 2021

**Elena Yurievna Narusova**, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department «Management of safety in a technosphere»

**Vladimir Gaiozovich Struchalin**, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department «Management of safety in a technosphere»

**Nazina Natalia Sergeevna**, student

*Russian University of Transport*

(127994, Russia, Moscow, Obraztsov St. 9, building 9,

*e-mails: e.narusova@ubt-rut-miit.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, natalya.oschckina@yandex.ru*)

**Abstract.** The length of the railway tracks between stations on the Russian railway network and the tight train schedule are the reason for the high relevance of fire safety of traction rolling stock. The Gorenje process that has begun is developing rapidly due to the high fire load of diesel and electric locomotives. The consequences of a locomotive fire on a stretch far from populated areas are complicated by the need for a long time for the arrival of the fire brigade, the possibility of switching the fire to neighboring cars, which can lead to the development of an emergency situation, depending on the type of cargo being transported. When transporting dangerous goods, such a fire can lead to disastrous consequences. In this case, the economic damage will significantly exceed the amount of direct material damage from the locomotive fire. The analysis of the conducted investigations of fires in the period 2018-2020 shows that the greatest number of causes of fires of diesel and electric locomotives are the result of the poor quality of the repair work carried out and the shortcomings of the maintenance of traction rolling stock. The article contains a list of possible causes of fires and fire-hazardous components for various series of diesel and electric locomotives using the Ishikawa causal diagram and Pareto analysis. Control and evaluation maps have been developed to determine the actual condition of the locomotive. The conclusion is made about the need for dynamic monitoring of the technical condition of traction rolling stock and re-calculation of fire risks after repairs to determine the effectiveness of fire-fighting measures.

**Keywords:** fire safety, locomotive fire, traction rolling stock, control and evaluation maps, dynamic monitoring.

**Введение.** В транспортном комплексе Российской Федерации железнодорожный транспорт занимает ве-

дущее место и является важной частью экономики.

Одним из наиболее актуальных вопросов безопас-



ности тягового подвижного состава является пожарной безопасность. Так, в 2020 году на железной дороге произошел 21 случай возгорания тягового подвижного состава, в 2019 году – 31 случай [1,2].

Обеспечение пожарной безопасности тягового подвижного состава регламентировано документами ОАО РЖД [3-5], методике оценки пожарного риска посвящены работы многих ученых [6 -11],

Анализ причин возгораний и экспериментальные исследования направлены на повышение уровня пожарной безопасности пассажирских вагонов при сохранении экономической эффективности и целесообразности производства [12-14].

Из общего количества пожаров 9 случаев произошли на электровозах и 12 на тепловозах. В 2019 году эти показатели составили 13 и 18 пожаров соответственно. Существенны цифры прямого материального ущерба от пожаров. Так, в 2020 году пожарами на электровозах причинен прямой материальный ущерб в размере 13,3 млн. руб., на тепловозах – 65,6 млн. руб. В 2019 году 14,5 млн. руб. и 12,1 млн. руб. соответственно [1, 2]. Следует отметить, что при возгорании локомотива грузового состава, перевозящего опасные грузы, пожар может перерасти в чрезвычайную ситуацию с серьезными экологическими последствиями. В

этом случае экономический ущерб существенно превысит величину прямого материального ущерба.

Анализ распределения числа пожаров по типам тепловозов показывает, что наибольшее число случаев (50%) произошло на тепловозах серии ТЭ116, затем следуют тепловозы серии ТЭ10 (25%), ТЭ (9%), ТЭП (8%), на долю прочих типов тепловозов приходится оставшиеся 8% [15].

Несмотря на то, что обстоятельства каждого возгорания имеют различия, 50% случаев пожаров на тепловозах разных серий произошли вследствие короткого замыкания. Среди других установленных причин примерно по 8% составляют различные проблемы, возникшие в процессе эксплуатации тепловозов, такие, как неисправности дизеля, турбокомпрессора, топливпровода, выхлопного тракта. Другие причины пожаров на тепловозах составляют 17% (рис. 1).

Материалами проведенных исследований установлено, что основное количество пожаров в период 2018-2020 гг. произошло вследствие низкого качества проведенных ремонтных работ и технического обслуживания, поэтому повышение качества ремонта тягового подвижного являются важнейшей задачей, решение которой будет способствовать предотвращению пожаров.

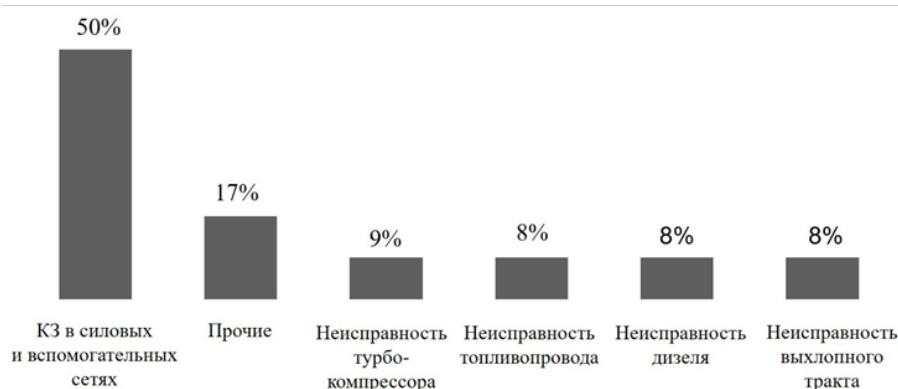


Рисунок 1 – Технические неисправности тепловозов – причины пожаров

Пожарная опасность тепловозов связана с тем, что дизельное топливо, имеющееся в большом количестве и обладающее температурой вспышки 40–65° С, и смазочные материалы обладают способностью интенсивно гореть. Опасность пожара и его катастрофические последствия связаны с тем, что начавшийся процесс горения развивается стремительно, со скоростью примерно 1,4 метра в минуту, при этом площадь пожара увеличивается с 4 кв. м в минуту в течение первых 10 минут до 8 кв. м в минуту в течение последующих 10-50 минут. В результате за 20 минут огнем может быть охвачен весь состав, что делает проблематичным успешное тушение.

Наряду с тепловозами, существенную часть локомотивного парка составляют электровозы, электрическое оборудование которых: аккумуляторы, пуско-регулирующие аппараты, электродвигатели, тяговые трансформаторы и др. представляет пожарную опасность [16]. Анализ распределения числа пожаров в

2020 году по сериям электровозов показал, что подавляющее большинство пожаров (89%) произошло на электровозах серии ВЛ-80, на электровозах серии ВЛ 11 – 11% пожаров. Среди причин пожаров в 2020 году неисправности тягового электродвигателя, тягового трансформатора, высоковольтных цепей, повреждение изоляции и нагрев провода (рис. 2) [1].



Рисунок 2 – Технические неисправности электровозов – причины пожаров



**Целью** исследования является снижение рисков возникновения пожаров на тяговом подвижном составе.

**Материалы и результаты исследования.** На основе статистических данных необходимо определить пожароопасные узлы для всех серий тягового подвижного состава (ТПС). Затем сформировать перечень пожароопасных состояний, по причине которых есть риск возникновения пожара в процессе эксплуатации ТПС, а также требования к содержанию контрольно-оценочных карт для оценки фактического состояния ТПС.

*Разработка контрольно – оценочных карт состояния подвижного состава.* Проблеме управления технологическими и пожарными рисками посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [7,8,17,18,19]. Большое значение для развития этого научного на-

правления имеет статистическое обеспечение, в становлении которого огромную роль сыграл созданный в Международной ассоциации пожарных и спасательных служб (СИФ) Международный Центр пожарной статистики. Ежегодно издаваемые отчеты, содержащие статистические данные из разных стран, позволяют использовать актуальные данные для расчетов и исследований [20].

Выявление возможных причин пожаров и пожароопасных узлов осуществляется с использованием причинно-следственной диаграммы Исикавы (рис. 3) и анализа Парето (рис. 4).

Для составления перечня пожароопасных состояний требуется учитывать как состояния, способные самостоятельно привести к возникновению пожара так и состояния, за счет которых достигается кумулятивный эффект.

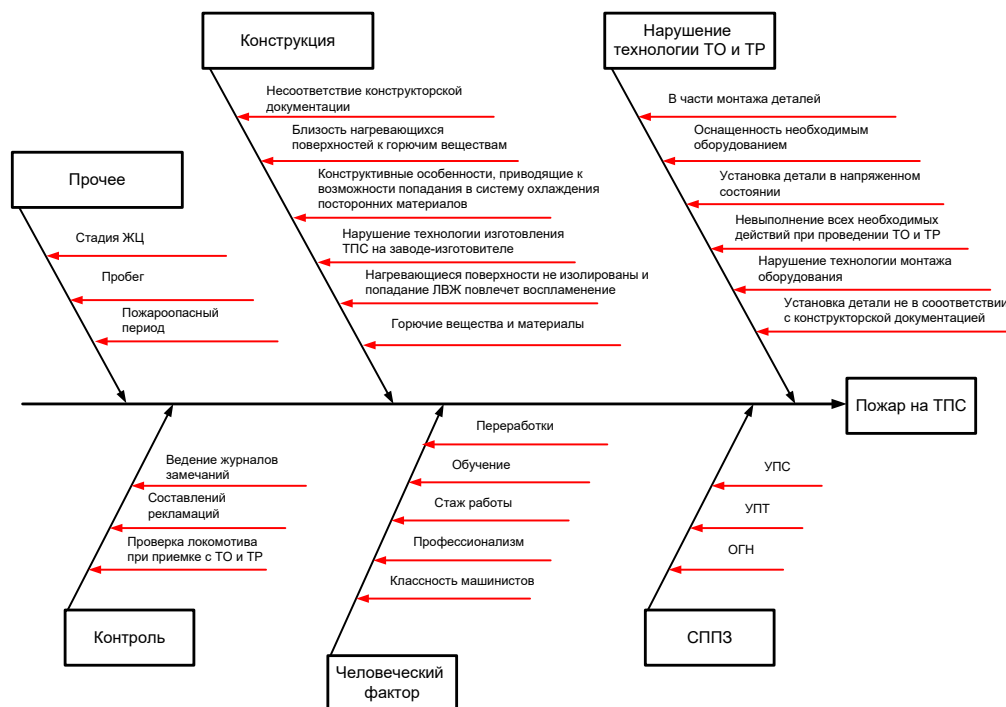


Рисунок 3 – Диаграмма Исикавы «Причины пожаров на ТПС»

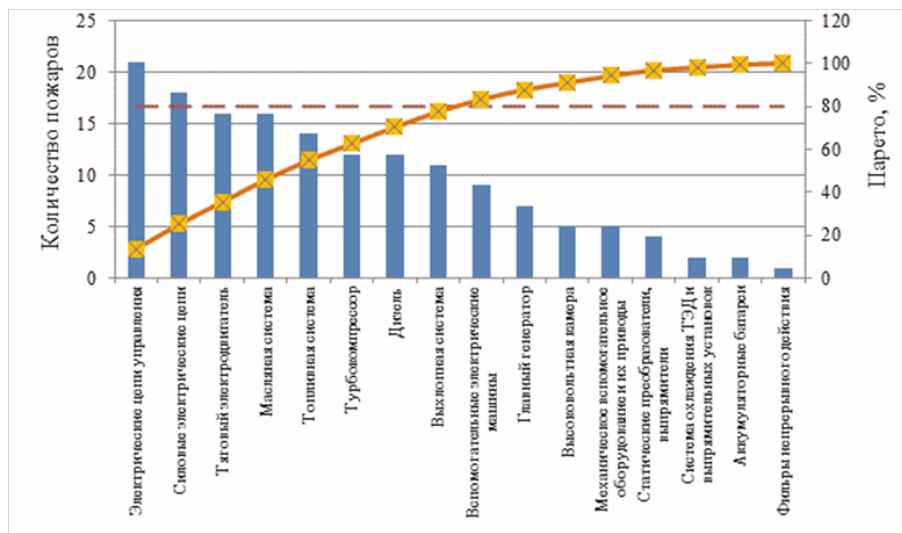


Рисунок 4 – Анализ Парето «Распределение количества пожаров по узлам тепловозов»

После формирования перечня возможных пожароопасных состояний и причин пожара создаются контрольно-оценочные карты фактического состояния тягового подвижного состава (КОК). В контрольно-оценочных картах делается запись о фактическом состоянии ТПС, а также расчет вероятности возникновения пожара из-за выявленных состояний.

Необходимо выделить следующие типы КОК:

- 1) КОК для сбора данных о состоянии узлов ТПС;
- 2) КОК для сбора данных об условиях эксплуатации секции ТПС, при которых повышается вероятность пожара;

3) КОК для регистрации результатов оценок ТПС.

Контрольно-оценочная карта должна включать следующую информацию:

- 1) узел (части узла), в котором возможно появление пожароопасных состояний;
- 2) пожароопасные состояния узла (части узла);
- 3) графу с возможностью регистрации наличия состояний;
- 4) оценку влияния пожароопасного состояния на

вероятность возникновения пожара (или оценку вклада в вероятность);

5) оценку вероятности появления пожара из-за состояний, которые невозможно выявить с помощью контрольно-оценочной карты ;

6) графу с возможностью регистрации отметки об устранении пожароопасного состояния ;

7) оценку влияния мероприятий по устранению пожароопасных состояний на вероятность пожара ( );

8) формулу для расчета вероятности возникновения пожара с учетом выявленных состояний;

9) формулу для расчета вероятности возникновения пожара в узле с учетом оценки вероятности появления пожара из-за состояний, которые невозможно выявить с помощью контрольно-оценочной карты;

10) формулу для вероятности возникновения пожара в узле с учетом устраненных пожароопасных состояний.

В таблице 1 представлена форма контрольно-оценочной карты для сбора и обобщения данных о состоянии узлов тягового подвижного состава.

Таблица 1 – Форма контрольно-оценочной карты ТПС

N	Часть узла	N	Пожароопасное состояние	Отметка о наличии	$P_{i}^{КОК}$	$\Delta_{ТО/ТР}$	Отметка об устранении	$\delta_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Формула для расчета вероятности возникновения пожара с учетом выявленных состояний:								
$P_j^{КОК} = \sum_{i=1}^i P_i^{КОК}$								
Формула для расчета вероятности возникновения пожара в узле с учетом оценки вероятности появления пожара из-за состояний, выявить которые с помощью контрольно-оценочной карты не представляется возможным:								
$P_j^{узел} = P_j^{КОК} + \Delta_{ТО/ТР} - P_j^{КОК} \cdot \Delta_{ТО/ТР}$								
Формула для вероятности возникновения пожара в узле с учетом устраненных пожароопасных состояний:								
$P_{jком}^{узел} = P_j^{узел} - \sum_{i=1}^i \delta_i$								

**Заключение.** Для снижения вероятности возникновения пожаров на тяговом подвижном составе необходимо совершенствовать контроль динамического изменения состояния ТПС во времени и условий протекания технологических процессов, не поддающихся прогнозированию. После устранения выявленных пожароопасных состояний в узлах тягового подвижного состава следует проводить повторный расчет уровня риска для оценки эффективности противопожарных мероприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анализ состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2020 году на основе данных АСУ ПБ ОАО «РЖД»
2. Анализ состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2019 году на основе данных АСУ ПБ ОАО «РЖД»
3. СТО РЖД15.016-2017 «Тяговый подвижной состав. Правила оценки и управления пожарными рисками».

4. ГОСТ 34394-2018 «Локомотивы и моторвагонный подвижной состав. Требования пожарной безопасности»

5. Методика расчета пожарных рисков на тепловозах и электровозах ОАО «РЖД» утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 26.12.2017 г. N 2750р.

6. Проневич, О.Б. Методы анализа пожарной безопасности тягового подвижного состава / О.Б. Проневич // Надежность. – 2017. - №2(61) - С.48-55.

7. Корольченко, А.Я. К вопросу о расчете пожарного риска / А.Я. Корольченко, А.А. Косачев// Пожаровзрывобезопасность// - 2010. – Т. 19, №6.- С. 53-56.

8. Thomas F. Barry. Simplified Fire Hazard and Risk Calculations / Thomas F. Barry, P.E., HSB PLC, and Dr. John Watts, Fire Safety Institute// С. 5-243-5-257.

9. Risk Informed Performance Based Industrial Fire Protection: An alternative to prescriptive codes / Thomas F. Barry, P.E. // 704 с.

10. Нарусова, Е.Ю. Пожарная безопасность тягового подвижного состава / Е.Ю. Нарусова, В.Г. Стручалин, Д.А. Брянцев // Проблемы безопасности российского общества. – 2017. - № 4(20) – С.73-78.

11. Методика оценки и способы снижения пожарной опасности пассажирских вагонов железнодорожного под-

вижного состава : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.26.03 / Елисеев Игорь Борисович; [Место защиты: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России]. - Санкт-Петербург, 2019. - 23 с.

12. Шабров, С.М. Обеспечение пожарной безопасности на тяговом подвижном составе дирекции тяги и анализ причин возникновения пожаров / С.М. Шабров // Технологии техносферной безопасности. – 2018. - № 1(40). – С. 36-45

13. Шевченко, А.И. Состояние пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта и направления ее повышения / А.И. Шевченко // Наука и техника транспорта. – 2006. - № 1. – С. 40-46.

14. Фомин, А.В. Анализ и риски возникновения пожаров на железнодорожном подвижном составе / А.В. Фомин, В.В. Сай, И.Б. Елисеев // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2017. - № 1 (41). – С. 45-50.

15. Шубинский, И.Б. Особенности оценки вероятности возникновения пожаров на тепловозах различных серий / И.Б. Шубинский, О.Б. Проневич, А.Д. Данилова// Надежность. - 2016. - № 4 - С. 24-29.

16. Бутузов, С.Ю. Проблемы управления профилактикой пожаров на локомотивах железнодорожного транспорта /С.Ю. Бутузов, А.П. Дегтярев // Технологии техносферной безопасности. – 2013. - № 6 (52). – С.16.

17. Гапанович, В.А. Система управления техногенными рисками в ОАО «РЖД» / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, О.Б. Проневич, В.Э. Швед // Железнодорожный транспорт. – 2017. - № 12. – С. 34-40.

18. Шубинский, И.Б. Графовый метод оценки производственной безопасности на объектах железнодорожного транспорта/ И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев, О.Б. Проневич//Надежность. - 2017. – №1 –С. 40-45.

19. Бутузов, С.Ю. Исследование алгоритмов и моделей управления профилактикой пожаров на локомотивах/ С.Ю. Бутузов, А.П. Дегтярев, А.С. Чашин// Проблемы управления рисками в техносфере.- 2015.- №3 (35).- С. 98-107.

20. Brushlinsky, N.N. World fire statistics: Report № 25 / N.N. Brushlinsky, M. Ahrens, S.V. Sokolov, P. Wagner // CFS of CTIF. – 2020. – 64 с.

*Статья поступила в редакцию 19.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*

УДК 622.242.422 622.276.04 622.279.04

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0044

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕУРСА ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ**

© 2021

**Староконь Иван Викторович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой  
"Автоматизации проектирования сооружений нефтяной и газовой промышленности"

*Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина  
(119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1, e-mail: starokon79@mail.ru)*

**Шалатонов Александр Владимирович**, начальник Управления

*ПАО «Газпром»  
(117997, Москва, ГСП-7, ул. Наметкина, 16, e-mail: Shalatonov1983@mail.ru)*

**Фомин Роман Сергеевич**, магистрант кафедры

"Автоматизации проектирования сооружений нефтяной и газовой промышленности"

*Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина  
(119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1, e-mail: frs96@yandex.ru)*

**Аннотация.** В настоящее время на морских и сухопутных месторождениях активно ведется добыча нефтегазовых ресурсов с последующей их транспортировкой и переработкой, что потребовало от нашей страны создания развитого комплекса объектов, обеспечивающих комплексное решение производственных задач. Согласно Федеральному закону №116 "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" объекты, обеспечивающие добычу, транспортировку и переработку нефтегазовых ресурсов, классифицируются в качестве опасных производственных объектов, аварии на которых сопровождаются значительным ущербом, а в наихудшем сценарии могут повлечь за собой человеческие жертвы как среди обслуживающего персонала, так и среди населения, находящегося поблизости от места аварии. Для предотвращения аварий на этих объектах проводится экспертиза промышленной безопасности, в ходе которой определяется их ресурс. Точный расчет ресурса позволит своевременно определить тот момент, когда состояние конструкции будет предельным, и будут отсутствовать условия для ее дальнейшей безопасной эксплуатации. Цель исследования заключается в совершенствовании для объектов нефтегазового комплекса методик практического расчета оценки ресурса опасных производственных объектов за счет систематизации существующих подходов и методик оценки ресурса. В настоящей статье внимание будет сфокусировано на различных методах оценки ресурса и проведению сравнительного анализа оценок, полученных по каждому методу. В качестве объектов исследования в настоящей статье выбраны морские стационарные платформы и магистральные трубопроводы.

**Ключевые слова:** магистральные, трубопроводы, морские, стационарные, платформы, ресурс, нефть, газа, опасные производственные объекты.

**METHODS FOR ASSESSING THE RESOURCE OF OBJECTS OF THE OIL AND  
GAS COMPLEX OF RUSSIA**

© 2021

**Starokon Ivan Viktorovich**, candidate of technical sciences, head of the Department  
of Automation of Designing of Oil and Gas Industry Structures

*Russian State University of Oil and Gas (national research university) named after I.M. Gubkin  
(119991, Moscow, Leninsky Prospekt, building 65, building 1, e-mail: starokon79@mail.ru)*

**Shalatonov Alexander Vladimirovich**, head of Department

*PJSC Gazprom  
(GSP-7, 117997, Moscow, st. Nametkina, 16, e-mail: Shalatonov1983@mail.ru)*

**Fomin Roman Sergeevich**, master's student of the Department of  
Automation of Designing of Oil and Gas Industry Structures

*Russian State University of Oil and Gas (national research university) named after I.M. Gubkin  
(119991, Moscow, Leninsky Prospekt, building 65, building 1, e-mail: frs96@yandex.ru)*

**Abstract.** At present, oil and gas resources are being actively extracted at offshore and onshore fields with their subsequent transportation and processing, which required our country to create a developed complex of facilities that provide a comprehensive solution to production problems. According to Federal Law No. 116 "On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities", facilities providing production, transportation and processing of oil and gas resources are classified as hazardous production facilities, accidents at which are accompanied by significant damage, and in the worst-case scenario they can lead to human casualties. maintenance personnel and among the population in the vicinity of the accident site. To prevent accidents at these facilities, an industrial safety examination is carried out, during which their resource is determined. An accurate calculation of the resource will make it possible to timely determine the moment when the state of the structure will be limiting, and there will be no conditions for its further safe operation. The purpose



of the study is to improve the methods for the practical calculation of the resource assessment of hazardous production facilities for oil and gas facilities by systematizing the existing approaches and methods of resource assessment. In this article, attention will be focused on the various methods of resource estimation and the comparative analysis of the estimates obtained for each method. Offshore fixed platforms and trunk pipelines are selected as objects of research in this article.

**Keywords:** trunk, pipelines, offshore, stationary, platforms, resource, oil, gas, hazardous production facilities.

**Введение.** Российская Федерация обладает развитым комплексом добычи, транспортировки и переработки нефтегазовых ресурсов. К этому комплексу относятся как объекты добычи, например, морские платформы, так и объекты транспортировки, в том числе системы магистрального трубопроводного транспорта. Следует отметить, что объекты нефтегазового комплекса России в соответствии с 116 ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1] классифицируются как опасные производственные объекты (ОПО) [2]. В случае аварийных ситуаций на подобных объектах существуют значительные риски гибели человеческого персонала. При аварии также наносится значительный ущерб окружающей среде, а ликвидация последствий аварии ведет к большим финансовым потерям. В этой связи решение вопросов предотвращения аварий на объектах нефтегазового комплекса России является важной и актуальной задачей. Одним из методов предотвращения аварий является точная оценка ресурса рассматриваемых объектов. В настоящей статье внимание будет сфокусировано на различных методах оценки ресурса и проведению сравнительного анализа оценок, полученных по каждому методу. В качестве объектов исследования в настоящей статье выбраны морские стационарные платформы и магистральные трубопроводы.

Морской сектор Российской Федерации располагает внушительными запасами нефти и газа. Добыча на этих территориях ведется в большинстве случаев с помощью морских стационарных платформ (МСП), большая часть из которых были установлены ещё во времена Советского Союза и находятся в эксплуатации по сегодняшний день. При расчетах морских нефтегазовых сооружений необходимо учитывать внешние факторы и условия, в которых находятся данный тип сооружений. Это могут быть разного рода нагрузки и воздействия окружающей среды, которые приводят к ускоренному исчерпанию ресурса платформ.

Большое количество существующих методик по анализу аварийности морских нефтегазовых сооружений не позволяет в полной мере исключить аварии на этих объектах. Одним из эффективных методов предотвращения аварийной ситуации и повышения надежности эксплуатации морских платформ является вычисление того момента, когда состояние этих объектов станет предельно допустимым для дальнейшей их деятельности. Данный метод называется методом оценки ресурса. Применение этого метода к оценке ресурса элементов и сварных соединений морских платформ позволит своевременно прогнозировать момент достижения ими предельных состояний и пре-

дотвратить возникновение аварийной ситуации.

Не менее важным объектом нефтегазового комплекса являются магистральные трубопроводы (МТ), которые также относятся к объектам повышенной опасности. Данный тип сооружений является важнейшим звеном в цепи добычи-переработки углеводородных ресурсов, и относится к стратегическим объектам нефтегазовой отрасли. Своевременная и бесперебойная поставка углеводородов является основной функцией МТ, делая данный вид транспортировки наиболее рентабельным и безопасным в мире. К настоящему моменту Российская Федерация располагает крупнейшей сетью магистральных трубопроводов, протяженностью более 250 тысяч километров, которая снабжает углеводородами не только себя, но и внешних потребителей из стран Европы и Азии.

Большая часть систем магистрального трубопроводного транспорта расположена под землей и поэтому подвержена повышенному коррозионному воздействию, нагрузкам со стороны грунтов и другим неблагоприятным воздействиям. Например, коррозионный износ металла уменьшает толщину стенки трубы, что снижает прочностные характеристики трубопровода и может привести к авариям на МТ. При этом чередования циклов запуска и остановки эксплуатирующихся трубопроводов приводит к возникновению в них переменных напряжений, что приводит к уменьшению сроков их безопасной эксплуатации, снижая ресурс.

В настоящее время различными авторами подчеркивается необходимость применения методов оценки ресурса для объектов нефтегазового комплекса [5-7]. Большой вклад в развитие методик оценки ресурса и обеспечение комплексной объектов нефтегазового комплекса внесли отечественные ученые академик Н.А. Махутов [8-10] и В.В. Харионовский [11-13]. Согласно данным приведенными авторами данных научных исследований, применение методов оценки ресурса для объектов нефтегазового комплекса позволит с высокой эффективностью уменьшить риск возникновения аварийных ситуаций на этих объектах, тем самым предотвратив значительные экологические и материальные потери, а также позволив избежать человеческих жертв. Однако, далеко не все существующие методы оценки ресурса, разработанные в различных отраслях промышленности, могут быть легко применены для объектов нефтегазового комплекса. И только последовательное изучение эффективности каждого из этих методов, включая опытно-промышленную эксплуатацию, позволит оценить эффективность применения каждого из них.

**Цель** исследования заключается в совершенство-

вании для морских стационарных платформ и подводных нефтегазопроводов, которые классифицируются опасные производственные объекты нефтегазового комплекса, методик практического расчета и оценки ресурса за счет систематизации существующих подходов и методик оценки ресурса, с обоснованием срока эксплуатации и выявлением интенсивности износа указанных выше объектов.

Безопасность объектов трубопроводного транспорта должна находиться на максимально высоком уровне, чтобы позволить обеспечить надежное и бесперебойное снабжения углеводородным сырьем и минимизации риска аварий МТ. Как уже говорилось выше, одним из методов обеспечения надежной эксплуатации систем магистрального трубопроводного транспорта, как и для любого другого опасного производственного объекта, является точная оценка их ресурса. Рассмотрим метод оценки ресурса магистрального газопровода на практическом примере. Основные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для определения ресурса магистрального трубопровода

Параметр	Значение
Наружный диаметр стальной трубы-	1020 мм
Толщина стенки	18,4 мм
Овальность трубы	1,5%
Расчетное давление, $p_p$	5,5 МПа
Обозначение стали	17Г1С1
Плотность стали	7850 кг/м <sup>3</sup>
Коэффициент поперечной деформации, $\nu$	0,3
Коэффициент линейного расширения, $\alpha$	1,3*10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>
Минимальный предел текучести	343 МПа
Предел прочности	630 МПа
Модуль упругости	200000 МПа

Расчетный срок  $T_n$  рассчитывается согласно рекомендациям [14-16] и состоит из 4 этапов:

Для определения расчетного срока службы изначально рассчитываются кольцевые напряжения  $\sigma_{ки}$  по формуле:

$$\sigma_{ки} = p_p * \frac{D_n - 2 * \delta}{2 * \delta} \quad (1)$$

Где  $p_p$  – рабочее или проектное давление, МПа;  $D_n$  – наружный диаметр газопровода, мм;  $\delta$  – толщина стенки трубы, мм.

После подстановки данных из таблицы 1 получаем следующие значения кольцевых напряжений  $\sigma_{ки}$  равное 147 МПа

Интенсивность напряжений в стенке трубы  $\sigma_i$ , МПа, в соответствии [2] по формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{ки}^2 - (\mu * \sigma_{ки} - E * \alpha * \Delta t) + (\mu * \sigma_{ки} - E * \alpha * \Delta t)^2} \quad (2)$$

где  $\sigma_{ки}$  – кольцевые напряжения, МПа;  $E$  – модуль упругости материала трубы, МПа;  $\alpha$  – коэффициент линейного(температурного) расширения материала трубопровода, 1/°C;  $\mu$  – безразмерный коэффициент, определяемый по рекомендации [14], для подземной прокладки линейных участков  $\mu=0,3$ ;  $\Delta t$  – температурный перепад, определяемый разностью температуры эксплуатации газопровода и температурой при укладке, °C температура при укладке составляет -10°C, а температура эксплуатации 40°C,  $\Delta t=50$ .

При подстановке значений в формулу (2) получим

значение интенсивности напряжений в стенке трубы равное 204 МПа.

Эквивалентные напряжения находят по формуле:

$$\sigma_3 = \frac{\left( c_1 + \frac{c_2 * N_0^{m_y} * \sigma_i}{\sqrt{1 - \mu + \mu^2}} \right)^{\frac{1}{m_y}}}{c_3 + c_4 * \left( \frac{D_n}{\delta} \right)^{\frac{1}{m_y}}} \quad (3)$$

где  $N_0$  – количество отнулевых циклов переменного нагружения газопровода, принятые по рекомендациям [2] принимается  $N_0=7$ ;  $m_y$  – коэффициент кривой усталости, принимаемый равным 3,  $\mu, c_p, c_2, c_3, c_4$  – коэффициенты, принимаемые по рекомендациям [15, 16] принимаются,  $c_1=1,181*10^8$ ;  $c_2=1,235*10^5$ ;  $c_3=0,935$ ;  $c_4=0,0187$ .

Проведя расчеты по формуле (3), получим значение эквивалентного напряжения от нулевого цикла, равное 550 МПа.

Тогда срок службы на этапе проектирования может быть получен по формуле:

$$T_{cc}^n = \frac{1}{k_y * d} \quad (4)$$

где  $k_y$  – коэффициент запаса, который включает в себя ряд таких факторов, связанных с влиянием агрессивной среды, остаточных напряжений и другие, равный 15;  $d$  – усталостная поврежденность газопровода за один год его эксплуатации, которая рассчитана по формуле:

$$d = \frac{\sigma_3^{m_y}}{10^b} \quad (5)$$

где  $m_y$  и  $b$  параметры, значения которых равны 3 и 11,4, описывающие расчетную кривую усталости.

Значение усталостной поврежденности  $d$  газопровода за год эксплуатации после расчетов составило 0,00066. Тогда срок службы, определяемый на этапе проектирования по формуле (4)  $T_{cc}^n$  составит 101 год.

Большой практический интерес представляют собой методики, позволяющие определять остаточный ресурс магистральных трубопроводов. Так, например, в работе [17] содержатся рекомендации по расчету ресурса трубопровода с учетом влияния наработки и множественных повреждений. После наработки в 30 лет необходимо посчитать остаточный ресурс трубопровода на этапе эксплуатации по формуле:

$$T_{cc}^3 = \frac{T_{cc}^n}{\kappa_D} = \frac{T_{cc}^n}{1,34 - (1 - p_{TC}^{0,06}) * \left( 2 - \left( \frac{T_n}{T_{cc}^n} \right)^{-0,1} \right)} \quad (6)$$

Где  $T_{cc}^n$  – проектный срок службы МТ, равный 101 году;  $p_{TC}$  – показатель технического состояния рассчитываемый по [17], который составляет 0,08 для МТ, прослужившим более 30 лет;  $T_n$  – наработка газопровода, 30 лет;  $\kappa_D$  – коэффициент снижения срока службы газопровода, определяемый по рисунку 1 [17].

Подставив все значения, определили остаточный ресурс, который оказался равен 83 годам.

Немаловажное практическое значение имеет ме-

год расчета остаточного ресурса магистрального трубопровода по энергетическим параметрам [18]. Ресурс участка трубопровода определяется в зависимости от энергетических характеристик, а именно за счет учета снижения ударной вязкости и изменений в структуре основного конструкционного материала.

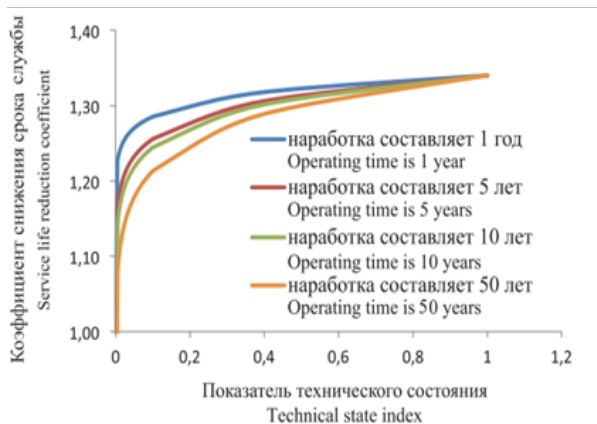


Рисунок 1 – Изменение в зависимости от наработки и показателя технического состояния газопровода

В качестве характеристики повреждений основного металла магистральных трубопроводов, выполненных из конкретной группы сталей принимается экспериментально-теоретический параметр  $\Pi_{(r)}$ , определяемый в соответствии с продолжительностью эксплуатации, определяемый по упрощенной формуле:

$$\tau_{кр} = 10^3 * \frac{\Pi_{(r)}}{K_0} \quad (7)$$

где  $K_0$  – расчетный коэффициент принимаемый для случаев:  $K_0=10,9$  для общего случая накопления деформаций в материале трубопровода;  $K_0=9,151$  для случая накопления повреждений в поперечном направлении;  $K_0=8,151$  для случая накопления повреждений только вдоль оси трубопровода.

Значение остаточного ресурса зависит от  $\Pi_{(r)}$  – уровня критической поврежденности. Для участков магистральных трубопроводов, проходящих через населенные пункты, вблизи железных и автомобильных дорог и других мест, где отказ может привести к

серьезным последствиям, надежность основного металла принимается равной 0,999. Такому значению надежности будет соответствовать уровень критической поврежденности  $\Pi_{кр}=0,3$ . При эксплуатации вдали от населенных пунктов принимается  $\Pi_{кр}=0,4$ , что соответствует нашему случаю. Тогда срок эксплуатации до наступления критического состояния составит 37 лет.

Если трубопровод эксплуатировался в течение 30 лет, то остаточный срок надежности работы для материала труб составит:

$$R_{т.кр} = 37 - 30 = 7 \text{ лет}$$

Одним из методов, имеющих более чем столетнюю историю применения, является расчет по методу Палгрейма-Веллера, который в дальнейшем был оптимизирован отечественными учеными В. Серенсоном, В.П. Когаевым [19-21]. Данный метод применяется в основном для условий многоциклового нагружения, что соответствует условиям эксплуатации морских платформ, находящихся в сложных условиях [20, 21]. Согласно этому методу для оценки ресурса морских платформ изучаются отдельные блоки амплитуд переменного нагружения, которые представлены в виде нескольких ступеней нагрузок в течении одного года эксплуатации. Для оценки ресурса сварного соединения или основного конструктивного элемента морской платформы необходимо разделить напряжения, вызванные различными по величине нагрузками, на блоки амплитуд переменных напряжений. Блок нагружения состоит из нескольких ступеней нагрузок, каждая из них вызывает переменные напряжения, которые можно охарактеризовать амплитудой переменного напряжения, числом повторений этой амплитуды в ступени.

Если число циклов до разрушения по кривой усталости при амплитуде напряжений равно циклов, то при этой амплитуде конструкция получает долю повреждения, равную. Более подробно этот метод описан в работе [19-21].

На основании усталостной диаграммы с учетом коррозионного воздействия (рис. 2), приведенной в документах [22, 23], произведем расчет ресурса сварного соединения морской платформы.

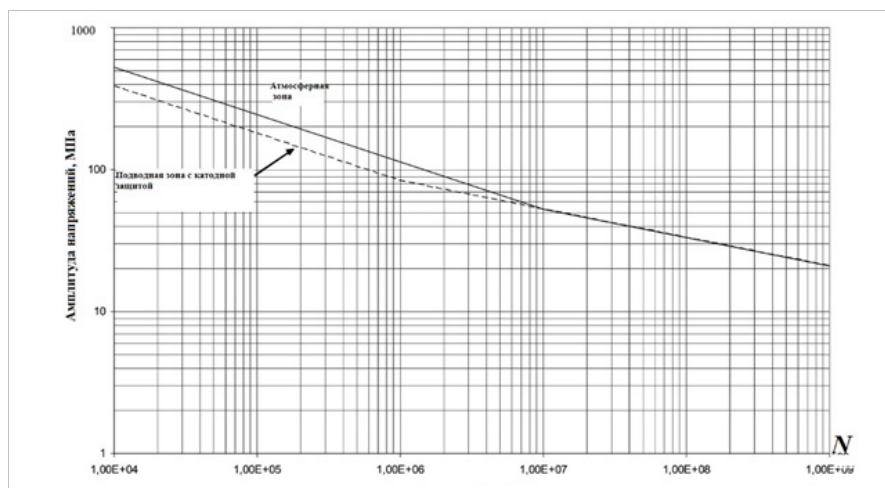


Рисунок 2 – Диаграмма усталости сварных соединений морских стационарных платформ



На основании данных, приведенных в статье [24], был выполнен расчет ресурса сварного соединения морской платформы. Было установлено, что ресурс указанных сварных соединений морской платформы равен 37 годам.

**Заключение.** В настоящее время разработаны эффективные методы определения ресурса опасных производственных объектов нефтегазового комплекса. Применение этих методов позволит своевременно определить момент наступления предельного состояния ОПО, предотвратив тем самым наступление аварийных ситуаций. В РФ совместно с зарубежными партнерами эксплуатируются протяженные системы магистрального трубопроводного транспорта, ожидаемый срок безопасной эксплуатации для некоторых из которых близок к исчерпанию. Таким примером может быть магистральный газопровод Уренгой-Помары-Ужгород, построенный в 1970-1980 годах Советским Союзом. Последняя авария на этом газопроводе произошла 9 января 2021 года в районе г.Лубна, а до этого на этом же газопроводе 15 сентября 2020г. Список аварий можно продолжать и далее. И общая тенденция свидетельствует о том, что без должной и своевременной оценки ресурса количество аварий будет только возрастать. Схожая ситуация и морскими платформами (более 30 единиц), расположенными на шельфе Черного моря, построенными во времена СССР. Ресурс этих объектов близок к своему исчерпанию, что требует своевременного проведения ремонтных работ, план которых можно сформировать только после проведения мероприятий по оценке ресурса, которые описаны в настоящей статье.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.1997 N 116-ФЗ [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/)
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности морских объектов нефтегазового комплекса». Серия 08. Выпуск 23. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. – 68 с
3. Староконь И.В. Проблемы оценки и продления остаточного ресурса морских стационарных платформ// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2019. № 12. С. 51-54.
4. Староконь И.В. Анализ зарубежных норм оценки рисков морских нефтегазовых сооружений на основе изучения нормативной документации// Естественные и технические науки. 2009. № 6 (44). С. 343-345
5. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
6. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Печёркин А.С., Красных Б.А. Расчетно-экспериментальные подходы к анализу и обеспечению ресурса и срока безопасной эксплуатации промышленных объектов// Безопасность труда в промышленности. 2020. № 1. С. 7-15.
7. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Комплексная оценка прочности, ресурса, живучести и безопасности машин в сложных условиях нагружения// Проблемы машиностроения и надежности машин. 2020. № 4. С. 24-34.
8. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Печёркин А.С., Красных Б.А. Научные проблемы определения ресурса и управления сроком безопасной эксплуатации промышленных объектов// Безопасность труда в промышленности. 2019. № 4. С. 7-15.

9. Махутов Н.А., Фридрих Я.М., Распопов А.А., Лисанов М.В. Развитие подходов к решению задач обеспечения прочности, ресурса и безопасности магистрального нефтепроводного транспорта// Безопасность труда в промышленности. 2019. № 9. С. 7-14.

10. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Унификация методов расчетов и испытаний на прочность, ресурс и трещиностойкость // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 10. С. 47-54.

11. Харионовский В.В. Управление техническим состоянием магистральных газопроводов// Безопасность труда в промышленности. 2020. № 3. С. 40-47.

12. Харионовский В.В. Надежность магистральных газопроводов: становление, развитие и современное состояние// Газовая промышленность. 2019. № 1 (779). С. 56-68.

13. Харионовский В.В. Магистральные газопроводы: развитие диагностических работ // Газовая промышленность. 2018. № 2 (764). С. 56-60

14. Макаров Г.И., Капустин О.Е. Компьютерные методы расчета и проектирования сварных конструкций нефтегазового профиля с использованием метода конечных элементов // Сварочное производство. 2019. № 11. С. 3-9

15. СТО РД Газпром 2-2.3-609-2011 «Определение критериев вывода в комплексный ремонт и сроков безопасной эксплуатации технологических трубопроводов компрессорной станции»

16. СТО Газпром 2-2.3-292-2009 «Правила определения технического состояния магистральных газопроводов по результатам внутритрубной инспекции»

17. Велиюлин И. И. Методика определения срока службы газопровода [Текст] / И. И. Велиюлин // Территория нефтегаз. – 2015. - № 8. – С. 106-111.

18. Методика оценки остаточного ресурса трубопровода [Текст] М.: СП СХС-Энергодиагностика, 1992. – 56 с.

19. Серенсен В., Когаев В.П. и др. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М., "Машиностроение", 197с.

20. Starokon I.V., Ovchinnikov Yu.M., Golovachev A.O. Investigation of vibro-oscillatory processes of the supports of offshore stationary platforms under conditions of alternating vortex formation caused by the influence of sea currents/ Akustika. 2019. T. 32. С. 262-264.

21. Староконь И.В. Оценка усталостной долговечности сварных соединений и основных конструктивных элементов опорных блоков морских стационарных платформ//Фундаментальные исследования. 2015. № 7-4. С. 691-696.

22. DNV-RP 2A-WSD «Рекомендуемая практика планирования, проектирования и сооружения морских стационарных платформ-расчет по допустимым напряжениям»- American Bureau of Shipping, New York, 2005. С. 132.

23. DNV-RP-C103. Рекомендованная практика. Расчет усталости морских стальных конструкций. – Norway: DNV, 2008. – 158 p.

24. Губайдулин Р.Г., Губайдулин М.Р., Тиньгаев А.К. Определение остаточного ресурса опорного блока морской стационарной платформы // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2012. – № 1 – С. 80–85.

*Статья поступила в редакцию 25.04.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 614.82/624.9

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0045

## АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

©2021

**Елисеев Дмитрий Васильевич**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Безопасности жизнедеятельности в техносфере и защиты человека в ЧС»

**Лапин Павел Алексеевич**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Безопасности жизнедеятельности в техносфере и защиты человека в ЧС»

**Копылов Сергей Александрович**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Безопасности жизнедеятельности в техносфере и защиты человека в ЧС»

**Король Владимир Вячеславович**, кандидат биологических наук,  
доцент кафедры «Безопасности жизнедеятельности в техносфере и защиты человека в ЧС»

*Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева*

*(302026, Россия, Орёл, улица Комсомольская, 95а,*

*e-mails: dv.eliseev@mail.ru, pal9@yandex.ru, sa.kopulov@mail.ru, vkking@yandex.ru)*

**Аннотация.** Учитывая большое количество потенциально опасных объектов на территории Орловской области есть вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера. В регионе в настоящее время функционируют 5 ХОО, 3 из которых относятся к третьему классу опасности, а 2 – к 5 классу. Опасность большинства объектов связана не только с количеством опасных химических веществ, но в первую очередь расположением данных предприятий в густонаселённых районах области. Эта особенность может привести к вероятности возникновения ЧС техногенного характера с непредсказуемыми социально-экономическими последствиями. Отличительной особенностью области также является большая протяжённость по территории газопроводов, нефте- и продуктопроводов, что может создать в дальнейшем предпосылки для возникновения техногенных ЧС. Основными причинами ЧС техногенного характера являются нарушения техники безопасности в ходе эксплуатации объекта, недостаточная или низкая квалификация компетенция обслуживающего персонала, амортизационная изношенность оборудования, дефекты при строительстве или монтаже оборудования и т.д. Для Орловской области характерна эксплуатация как передовых предприятий, осуществляющих технологические инновации, так и с морально устаревшим оборудованием. Основными причинами возникновения ЧС на дорогах области являются дорожно-транспортные происшествия по вине водителей, в том числе несоблюдение необходимой дистанции, грубое нарушение скоростного режима, невыполнение правил очередности проезда, а также нахождение водителей в состоянии наркотического и алкогольного опьянения.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, химически опасный объект, трубопроводный транспорт, химическое загрязнение, организация дорожного движения, изношенность оборудования, транспорт, опасность, регулирование, нарушение, авария.

## ANALYSIS AND FORECASTING OF EMERGENCY SITUATIONS AT POTENTIALLY DANGEROUS FACILITIES IN THE OREL REGION

©2021

**Eliseev Dmitry Vasilyevich**, candidate of technical sciences,  
associate professor of the Department "life Safety in technosphere and the protection of man in emergencies"

**Lapin Pavel Alekseevich**, candidate of technical sciences,  
associate professor of the Department "life Safety in technosphere and the protection of man in emergencies"

**Kopylov Sergey Aleksandrovich**, candidate of technical sciences,  
associate professor of the Department "life Safety in technosphere and the protection of man in emergencies"

**Korol Vladimir Vyacheslavovich**, candidate of biological sciences,  
associate professor of the Department "life Safety in technosphere and the protection of man in emergencies"

*Orel state University named after I. S. Turgenev*

*(302026, Russia, Oryol, Komsomolskaya street, 95A,*

*e-mails: dv.eliseev@mail.ru, pal9@yandex.ru, sa.kopulov@mail.ru, vkking@yandex.ru)*

**Abstract.** Given the large number of potentially dangerous objects on the territory of the Orel region, there is a possibility of man-made emergencies. There are currently 5 CSOs operating in the region, 3 of which belong to the third hazard class, and 2-to the 5th class. The danger of most objects is associated not only with the amount of dangerous chemicals, but primarily with the location of these enterprises in densely populated areas of the region. This feature can lead to the likelihood of man-made emergencies with unpredictable socio-economic consequences. A distinctive feature of the region is also the large length of gas pipelines, oil and product pipelines on the territory, which can create prerequisites for the occurrence of man-made emergencies in the future. The main causes of man-made emergencies are safety violations during the operation of the facility, insufficient or low qualification competence of maintenance personnel, depreciation wear of equipment, defects in the construction or installation of equipment, etc. The Orel region

is characterized by the operation of both advanced enterprises engaged in technological innovations and obsolete equipment. The main causes of emergencies on the roads of the region are road accidents caused by drivers, including non-compliance with the necessary distance, gross violation of the speed limit, non-compliance with the rules of priority of travel, as well as the presence of drivers in a state of drug and alcohol intoxication.

**Keywords:** emergency situation, chemically dangerous object, pipeline transport, chemical pollution, traffic management, equipment wear, transport, danger, regulation, violation, accident.

**Введение.** В настоящее время чрезвычайные ситуации (ЧС) техногенного характера представляют серьёзную проблему для успешного развития страны. За каждой случившейся ЧС стоит не только разрушение промышленных, коммунальных или иных объектов, но и причинение вреда окружающей среде, жертвы среди населения или работников производства. Анализ ЧС в Орловской области показал, что их количество постепенно сокращается по различным причинам, на выяснение которых остановимся подробнее.

В соответствии с федеральным законодательством ЧС - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [1].

Любая чрезвычайная ситуация – это негативный процесс воздействия техногенного и природного характера на людей и окружающую среду.

Классификация ЧС осуществляется по различным критериям, таким как природа и причина возникновения, масштаб случившегося, скорость распространения, продолжительность действия, прогнозируемость и вероятность предотвращения.

Основным признаком классификации ЧС является природа их возникновения. Различают техногенные, природные, социальные, военные, биологические и экологические.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 21 мая 2007 г. № 304 "О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" с изменениями на 20 декабря 2019 г. все ЧС природного и техногенного характера делятся в зависимости от масштабов, количества пострадавших и причинённого ущерба окружающей среде [4].

С 2004 по 2019 год в Орловской области было зарегистрировано 68 ЧС техногенного характера, 5 ЧС биолого-социального и 8 ЧС природного характера, то есть всего 81. В прошлом году на Орловщине случилось три ЧС техногенного характера и одна биолого-социального характера. Так как наиболее часто встречаемыми являются ЧС именно техногенного характера, разберём подробно причину, характер и принимаемые меры по их предотвращению на территории области.

Основные опасности возникновения техногенных ЧС в Орловской области заключаются в следующих факторах:

- высокий процент эксплуатации устаревшего оборудования, механизмов, коммунальных сетей и транспортной инфраструктуры;
- работа потенциально опасных объектов (ПОО)

рядом или внутри населённого пункта;

- наличие протяжённой сети продукто-, нефте- и газопроводов с высоким уровнем износа основных фондов;

- эксплуатация сети железных и автомобильных дорог, транспортирующих опасные грузы различного назначения, нефтепродукты и другие взрывопожароопасные вещества.

**Целью** статьи является анализ основных потенциально опасных объектов на территории региона с целью минимизировать вероятные чрезвычайные ситуации.

**Материалы и результаты исследования.** В Орловской области для анализа безопасной работы ПОО используют различные методы оценки их состояния, как количественные, так и качественные. Каждому из них присущи как достоинства, так и определённые недостатки. Например, анализируя химический ПОО ОАО «Холод», расположенный в центре областного центра, не учитываются расположение рядом взрывопожароопасного объекта (ВПОО) - автомобильной газозаправочной станции и вероятное воздействие в случае возникновения внештатной ситуации. При использовании качественных методов только на первом этапе анализа удастся определить элементы, выход из строя которых приводит к потере управляемости всего объекта. Например, анализируя работу ВПОО «Линейная производственно-диспетчерская станция «Стальной Конь» АО «Транснефтепродукт-Самара», невозможно качественными методами определить дальнейшее поведение расположенного вблизи ВПОО производственного цеха «Стальной Конь» АО «Орёл-нефтепродукт» вследствие множества вариантов протекания различных процессов внештатных ситуаций. Учитывая расположение вблизи населённого пункта, необходимо также принимать во внимание воздействие загрязнителей на население [7,12].

В соответствии с Федеральным законом от 21.12.1994 №68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» ПОО - это объект, на котором расположены здания и сооружения повышенного уровня ответственности, либо объект, на котором возможно одновременное пребывание более пяти тысяч человек [2].

На 1 января 2021 год в Орловской области находятся 69 потенциально опасных объектов, из которых на взрывопожароопасные объекты - 64 (табл.1).

На потенциально опасных объектах Орловской области средний показатель риска чрезвычайных ситуаций согласно матрице «вероятность-тяжесть последствий» составляет  $1,87 \times 10^{-7}$ , рассматривая виды отказов, частоту их возникновения за год и тяжесть последствий [12].

Химически опасный объект (ХОО) - объект, на

котором осуществляется хранение, переработка, использование или транспортировка опасных химических веществ, результатом аварии возможно химическое заражение сельскохозяйственных животных, растений и окружающей среды [4].

В Орловской области имеется три ХОО третьего класса опасности, расположенные в густонаселённых районах области.

Анализ основных производственных фондов ХОО показал, что самая сложная обстановка может возникнуть на ОАО «Орёлхолод» вследствие аварий с выбросом или вытеканием аммиака. На данном предприятии складированы большие объёмы аммиака, причём находятся они в городской черте. Аммиак взрывоопасен при взаимодействии с воздухом, в газообразном состоянии чрезвычайно токсичен, а при осаждении на слизистых оболочках способен вызвать химическое поражение дыхательных путей и глаз человека. А второй причиной является износ основных производственных фондов и относительно низкий уровень

систем защиты.

Согласно проведённым расчётам Орловской областной территориальной подсистемой единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ОТП РСЧС) приблизительные потери населения при неблагоприятном исходе могут составить до 82 человек, в том числе 29 безвозвратных.

В Орловской области в настоящее время имеются два биологически опасных объекта (БОО) - станция аэрации в д. Вязки Орловского района и на территории ФКП «Орловская Биофабрика», где утилизировались животные, погибшие от сибирской язвы (табл.2).

Характерной чертой является расположение потенциально опасных объектов в черте областного центра.

Эта особенность может привести к вероятности возникновения ЧС техногенного характера с непредсказуемыми социально-экономическими последствиями.

Таблица 1 – Характеристика потенциально опасных объектов в Орловской области на 2020 год

Наименование ПОО	Количество объектов	Численность населения в зоне вероятной ЧС, тыс. чел	% износа	
			основных производственных фондов	систем защиты
Химически опасные	3	6,743	53,9	50,1
взрывоопасные	16	0,487	66,7	64,1
пожароопасные	7	0,698	66,9	65,1
Взрывопожароопасные отдельные объекты	41	1,994	67,8	62,5
Нефтепроводы, тыс. км	0,293	0,028	66,9	63,1
Газопроводы, тыс. км.	0,556	0,019	63,1	57,4
Нефтепродуктопроводы, тыс. км	0,496	0,116	75,3	68,7
Критически важные объекты	17	194,467	73,1	52,9

Таблица 2 – Перечень потенциально химически- и биологически опасных объектов в Орловской области

№	Нахождение объекта	Наименование предприятия	Фактор опасности	Класс опасности	Наименование опасного вещества и его количество
1	г. Орёл, пер. Артельный, д.3	ООО «Первая линия»	ХОО	3	Аммиак 6 000 кг
2	г. Орёл, ул. Раздольная, д.105	Филиал «Орловский» ОАО «Северсталь-метиз»	ХОО	3	Соляная кислота -49 тонн, серная кислота -229 тонн.
3	г. Орёл, ул. Автовокзальная, д.59а.	ООО «Орёлхолод»	ХОО	3	Аммиак 9000 кг.
4	Орловская область, Орловский район, Платоновское с.п., д. Вязки, станция аэрации	Орловская станции аэрации МПП ВКХ «Орёлводоканал»	БОО	2	Неочищенные сточные воды и осадки
5	Орловская область, Орловский район, посёлок Биофабрика	ФКП «Орловская Биофабрика»	БОО	2	Споры сибирской язвы

В настоящее время крупные предприятия располагают за чертой города по различным причинам, одной из которых является уменьшение негативных последствий на жителей в результате возникновения ЧС техногенного характера.

Основными причинами ЧС техногенного характера являются нарушения техники безопасности в ходе эксплуатации объекта экономики, недостаточная или низкая квалификация компетенция обслуживающего персонала, амортизационная изношенность оборудования, дефекты при строительстве или монтаже оборудования, а также конструктивные недостатки при проектировании объектов.

Алгоритм выявления и мониторинга потенциально опасных объектов с учётом особенностей Орловской области.

Алгоритм действий разрабатывается с учётом особенностей региона, его промышленного потенциала, наличия ПОО, сети транспортных дорог и состояния трубопроводного транспорта в соответствии с испол-

нением требований ФЗ РФ от 21.12.1994 № 68 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Алгоритм определения угрожающих факторов ПОО для области заключается в решении следующих этапов:

- идентификация потенциально опасных объектов на территории области;
- мониторинг ПОО с целью уменьшения вероятности возникновения ЧС на объекте;
- контроль параметров и их критических показателей;
- поиск индикаторов безопасного функционирования ПОО;
- нахождение причинно-следственной связи и механизма реагирования контролируемых параметров на безопасную работу ПОО;
- фиксация, анализ и передача параметров ПОО
- использование полученных результатов мониторинга для всех этапов функционирования ПОО: про-

ектирования, строительства, эксплуатации и выведения из эксплуатации [6].

Учитывая относительно небольшую площадь области, её местоположение в центре страны и высокую плотность населения, результаты мониторинга работы ПОО области необходимо учитывать на всех этапах функционирования объектов.

В области в 2020 году для увеличения продолжительности работы в различных условиях эксплуатации ПОО территориальными органами федеральных органов исполнительной власти, органами исполнительной государственной власти области, органами местного самоуправления муниципальных образований проведено в полном объёме планирование мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных и чрезвычайных ситуаций. Были разработаны планы действий и паспорта безопасности по каждому объекту [8].

Износ производственных фондов и систем защиты ПОО в городах Орёл, Мценск, Ливны, а также в Орловском районе достигает опасного значения, что может повлечь создание сложной обстановки в густонаселённых пунктах. Также растёт риск возникновения чрезвычайной ситуации в регионе при эксплуатации коммунальных, энергетических и тепловых сетей вследствие снижения показателей эксплуатационных характеристик оборудования и материалов.

В результате исследования, проведённого на ряде ПОО, спланированы и проведены профилактические инженерно-технические мероприятия, внедрению новых образцов оборудования и материалов, поддержания в рабочем состоянии локальных систем оповещения.

С целью совершенствования систем безопасности на ПОО в Орловской области были выбраны следующие направления:

– на химически и биологически опасных объектах проведена установка систем видеонаблюдения для предотвращения несанкционированного доступа посторонних лиц; смонтированы на всех объектах системы контроля загазованности; системы мониторинга в местах предполагаемых ЧС с целью оперативного предупреждения о возникшей экстремальной ситуации;

– на магистральном трубопроводном транспорте осуществлено оснащение систем телемеханики с целью своевременного обнаружения сбоев в работе и своевременной ликвидации последствий;

– на взрывопожароопасных объектах внедрены системы обнаружения опасных концентраций паровоздушных и взрывопожароопасных смесей, смонтированы системы сигнализации и пожаротушения.

**Заключение.** С целью снижения риска возникновения внештатных ситуаций на ПОО в Орловской области основными направлениями по повышению безопасности являются:

– на взрывопожароопасных объектах установка систем обнаружения взрывопожароопасных опасных концентраций газо- и паровоздушных смесей и дальнейшее усовершенствование систем сигнализации и

пожаротушения;

– на химически опасных объектах монтаж и поддержание в рабочем состоянии систем сигнализации, видеонаблюдения;

– выполнение профилактических и плановых ремонтов оборудования, систем энерго-, водо-, теплоснабжения, а также основных фондов.

В соответствии с федеральным законодательством в Орловской области на БОО предприятиях были приняты все необходимые меры с целью создания внештатных аварийно-спасательных формирований. А по области на 1 января 2021 года созданы и успешно функционируют пять внештатных аварийно-спасательных формирований численностью 74 спасателя [3, 14].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 30.12.2008 № 309-ФЗ «О внесении изменений в статью 16 Федерального закона «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями от 29.07.2017).
2. Федеральный закон от 21.12.1994 №68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера».
3. Федеральный закон от 12.02.1998 № 28-ФЗ (ред. от 23.06.2020) «О гражданской обороне».
4. Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 года № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (с изменениями на 20 декабря 2019 года).
5. ГОСТ 22.0.05-97 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения (аутентичен ГОСТ Р 22.0.05-94).
6. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах // Сб. документов М.: Госгортехнадзор России, НТЦ «Промышленная безопасность». 2000. Сер. 27. Вып. 2. 220 с.
7. Титова Т.С., Ахтямов Р.Г., Бухарбаева Г.А. Разработка методических основ определения и оценки состояния потенциально-опасных объектов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.
8. ГОСТ Р 22.2.06-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайных ситуаций при разработке паспорта безопасности критически важного объекта и потенциально опасного объекта.
9. ГОСТ Р 22.2.06-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайных ситуаций при разработке паспорта безопасности критически важного объекта и потенциально опасного объекта.
10. Приказ МЧС России от 01.10.2014 № 543 «Об утверждении Положения об организации обеспечения населения средствами индивидуальной защиты».
11. Постановление Правительства Орловской области от 26.08.2020 № 530 «Об учреждениях сети наблюдения и лабораторного контроля гражданской обороны и защиты населения территориальной подсети Орловской области»
12. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. РД 03-418-01. Госгортехнадзор, НТЦ «Промышленная безопасность». М.: 2001.
13. Анализ и оценка природного и техногенного риска в строительстве. Материалы НТС. М.: изд. ПНИИИС, 1995.
14. Приказ МЧС России от 23.12.2005 № 999 (ред. от 08.10.2019) «Об утверждении Порядка создания нештатных аварийно-спасательных формирований».

*Статья поступила в редакцию 23.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*



УДК 544.726

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0046

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ АДСОРБЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДСОРБЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД

©2021

**Борисков Дмитрий Евгеньевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,  
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

**Комарова Надежда Алексеевна**, магистрант

**Курочкина Ольга Геннадьевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,  
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

**Куликова Ольга Анатольевна**, ст. преподаватель кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

**Кузьмин Антон Алексеевич**, кандидат биологических наук,  
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

*Пензенский государственный технологический университет  
(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, boriskovde1965@gmail.com)*

**Аннотация.** Работа посвящена оценке влияния способа модификации природного диатомита на эффективность его адсорбционных свойств. Под эффективностью в работе понимается величина емкости адсорбционного слоя  $A_{\infty}$ . Для сравнения с природным сорбентом использовали доступные способы модификации (термический, кислотный, щелочной). В качестве модельного адсорбента применяли стандартные водные растворы  $Cu(NO_3)_2$ . Адсорбцию вели в течение двух временных промежутков: короткого (1 час) и длительного (24 часа). Линейная модель зависимости  $C/A = f(C)$  с учетом типа модификации адсорбента дает статистически значимые коэффициенты регрессии для кислотного ( $H$ ) и щелочного ( $OH$ ) типов модификации диатомита по сравнению с природным для короткого (1 час) временного интервала адсорбции ( $k_H = -0.772211$ ,  $p_H = 0.0133$ ,  $k_{OH} = -0.679906$ ,  $p_{OH} = 0.0298$ ). Сравнение выборок значений коэффициентов регрессии для кислотного и щелочного диатомитов в пределах доверительных интервалов обнаруживает статистически значимые различия между ними. Таким образом, установлено достоверное положительное влияние щелочной модификации на эффективность процессов кратковременной (1 час) сорбции модельного адсорбата.

**Ключевые слова:** адсорбция, диатомит, щелочная модификация, адсорбат, сорбент, загрязнение гидросферы, качество воды, линейная модель.

## ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF ADSORBENT MODIFICATION ON THE EFFICIENCY OF ADSORPTION OF HEAVY METALS EFFECTING THE QUALITY OF NATURAL WATER

©2021

**Boriskov Dmitriy Evgenievich**, candidate of agricultural sciences, associate professor,  
associate professor of Biotechnology and Technosphere Safety Department

**Komarova Nadezhda Alekseevna**, master's student of Biotechnology and Technosphere Safety Department

**Kurochkina Olga Gennadievna**, candidate of agricultural sciences, associate professor,  
associate professor of Biotechnology and Technosphere Safety Department

**Kulikova Olga Anatolievna**, senior lecturer of Biotechnology and Technosphere Safety Department

**Kuzmin Anton Alekseevich**, candidate of biological sciences,  
associate professor of Biotechnology and Technosphere Safety Department

*Penza state technological university  
(Russia, 440039, Penza, Pr. Baidukova/Gagarina Street, 1a / 11, boriskovde1965@gmail.com)*

**Abstract.** Article is devoted to estimation of a natural diatomite modification type influence on adsorption quality which is in this case an adsorption layer volume  $A_{\infty}$ . For comparison with wild type available modifications were used including thermal, acidic and alkaline. As a model sorbate  $Cu(NO_3)_2$  standard water solutions were used. Adsorption was conducted during short (1 hour) and long (24 hours) term periods. Linear model  $C/A = f(C)$  considering sorbent modification type gives statistically significant regression coefficients for acidic and alkaline diatomite modification for short term adsorption comparing with native sorbent ( $k_H = -0.772211$ ,  $p_H = 0.0133$ ,  $k_{OH} = -0.679906$ ,  $p_{OH} = 0.0298$ ). Comparison of regression coefficients samples for acidic and alkaline diatomite in confidential intervals' limits reveals statistically significant differences between coefficients. Thus alkaline modification of diatomite significantly increases quality of short term adsorption of a model adsorbent.

**Keywords:** adsorption, diatomite, alkaline modification, sorbate, sorbent, hydrosphere pollution, water quality, linear model.

**Введение.** Вода является средообразующим элементом локальных и глобальных экосистем, биосферы в целом. Качество природных вод напрямую определяет как жизнеспособность живых организмов,

так и устойчивость всей экосистемы. Безопасность природной воды для человека зависит от концентрации поллютантов в водных резервуарах. Поэтому снижение содержания загрязнителей является актуальной

экологической проблемой. Одним из эффективных методов очистки воды является улавливание загрязнителей развитой поверхностью сорбента. В основе метода лежат механизмы адсорбции. В связи с растущим количеством техногенных стоков всё острее встает вопрос поиска дешевых, универсальных и высоко действенных адсорбентов, а также способов их модификации с целью повышения эффективности сорбционных процессов [1]. Одним из доступных природных сорбентов являются диатомиты, происхождение, местонахождение, физико-химические свойства и ограничения применения которых подробно описаны в работах [2-10]. Однако, вопросам преодоления этих ограничений путем, например, физико-химической модификации природного диатомита уделяется крайне мало внимания. Одна из немногих попыток повышения эффективности действия диатомитового сорбента предпринята коллективом авторов в работе [1]. Тем не менее, работе не достает объективной оценки влияния типа модификации на эффективность адсорбции.

**Цель** работы – объективно оценить влияние типа модификации природного диатомита на эффективность процесса адсорбции.

**Материалы и методы исследования.** Материалом работы послужили данные адсорбции ионов меди (II) на природном и модифицированных диатомитах из стандартных растворов сульфата меди. В качестве исходного адсорбента использовали диатомит инзенского природного месторождения (окрестности г. Инза, Инзенский р-н, Ульяновская обл.). Методики модификации природного диатомита, приготовления стандартных растворов ионов меди (II) и проведения эксперимента подробно изложены в работе [1]. Равновесные концентрации адсорбата определяли потенциометрически (стандартный хлорсеребряный электрод и ионоселективный мембранный индикаторный электрод «ЭЛИС-131 Си» [11, 12]) через 1 час и 24 часа адсорбции с помощью иономера модели «Эксперт 001». Исходные данные представлены в работе [1].

Под эффективностью в работе понимается величина емкости адсорбционного слоя  $A_{\infty}$  – число адсорбционных центров, приходящихся на единицу площади поверхности или единицу массы адсорбента.

Величину адсорбции рассчитывали по формуле (1):

$$A = \frac{(C_0 - C) \cdot V_{p-pa}}{m_{\text{адсорбента}}}; [A] = [мг / кг] \quad (1)$$

Для оценки влияния модификации адсорбента на эффективность адсорбции применяли дисперсионный анализ с помощью линейной модели [13, 14]. Модель строили в среде R, версия 4.0.3 [15]. При подгонке линейной модели использовали уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра вида  $y = kx + b$ :

$$\frac{C}{A} = \frac{1}{A_{\infty}K} + \frac{1}{A_{\infty}} C, \quad (2)$$

где  $C$  – равновесная концентрация адсорбата в растворе, моль/л;  $A$  – адсорбция, моль/кг;  $A_{\infty}$  – ем-

кость адсорбционного моно слоя;  $K$  – константа адсорбционного равновесия.  $K$  – константа адсорбционного равновесия в уравнении Ленгмюра, характеризует энергию взаимодействия адсорбата с адсорбентом (химическое сродство  $\Delta G^0 = -RT \ln K$ ). Чем сильнее это взаимодействие, тем больше константа адсорбционного равновесия.

Статистическую значимость линейных моделей оценивали с помощью  $F$ -статистики при пороге достоверности  $p = 0.05$  [16].

Нормальность распределения значений адсорбции оценивали с помощью теста Шапиро-Вилкса ( $W$ ), порог статистической значимости  $p = 0.05$  [17-19].

Для дисперсионного анализа непараметрических величин применяли тест Краскала-Уолиса (*Kruskal-Wallis chi-squared*), порог статистической значимости  $p = 0.05$  [20].

Для выявления связи ( $r$ ) между значениями  $C/A$  и  $C$  применяли тест ранговых корреляций Спирмена ( $S$ ), порог статистической значимости  $p = 0.05$  [21].

Для статистически достоверного сравнения коэффициентов регрессии линейной модели рассчитывали доверительные интервалы их значений (при уровне 0.95), генерировали выборки нормально распределенных величин в пределах полученных интервалов ( $n = 1000$ ), применяли сравнительный тест Стьюдента ( $t$ ) при пороге статистической значимости  $p = 0.05$  [22].

**Результаты исследования.** Уровни статистической значимости тестов Шапиро-Вилкса указывают достоверное отличие распределений величин адсорбции от нормального как спустя 1 час, так и спустя сутки после начала процесса поглощения ( $W_1 = 0.6643$ ,  $p = 9.268 \cdot 10^{-7}$  и  $W_{24} = 0.77938$ ,  $p = 4.721 \cdot 10^{-5}$ ). Это обуславливает необходимость использования в работе непараметрических методов анализа.

Диаграммы разброса величин адсорбции катиона меди (II) на естественном и модифицированных диатомитах спустя 1 час и 24 часа представлены на рисунке 1.

Уровень статистической значимости теста  $\chi^2$  Краскала-Уолиса указывает на отсутствие достоверных различий между медианами выборок величин адсорбции ионов меди (II) на природном и модифицированных диатомитах как спустя 1 час, так и спустя сутки после начала процесса поглощения ( $\chi^2_1 = 0.27234$ ,  $df = 3$ ,  $p = 0.9651$  и  $\chi^2_{24} = 0.94818$ ,  $df = 3$ ,  $p = 0.8138$ ). Таким образом, адсорбция ионов меди (II) на природном и модифицированных диатомитах без учета равновесной концентрации сорбента достоверно не различается.

Значения теста Спирмена между переменными  $C/A$  и  $C$  для двух временных выборок (1 час и 24 часа) указывают на наличие высокой, статистически значимой корреляции в обеих выборках ( $S_1 = 162$ ,  $p = 2.53 \cdot 10^{-15}$ ,  $r_1 = 0.955665$  и  $S_{24} = 18.508$ ,  $p < 2.2 \cdot 10^{-16}$ ,  $r_{24} = 0.994935$ )

Графики моделей линейной регрессии  $C/A = f(C)$  для двух временных интервалов измерений (1 и 24 часа) без учета типа модификации диатомита представлены на рисунке 2.

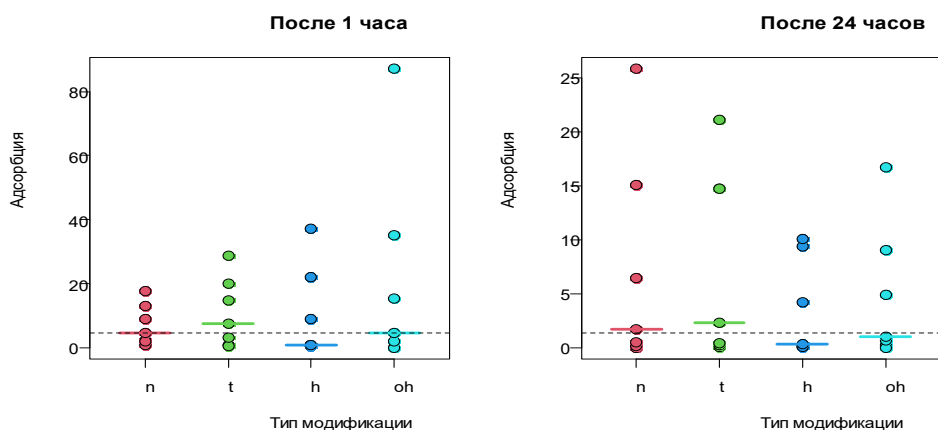


Рисунок 1 – Диаграммы разброса величин адсорбции катиона меди (II) на естественном и модифицированных диатомитах (n – природный, t – термический, h – кислотный, oh – щелочной), пунктиром обозначен уровень общей медианы, сплошные линии – медианы выборок

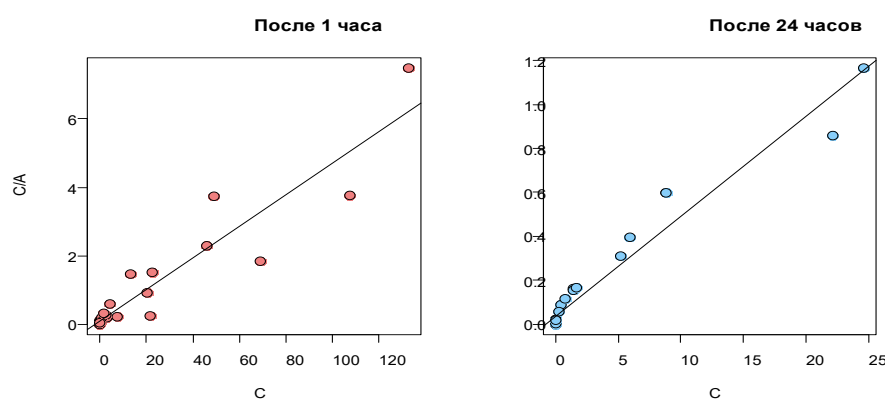


Рисунок 2 – Графики моделей линейной регрессии  $C/A = f(C)$  для двух временных интервалов измерений (1 и 24 часа соответственно) адсорбции ионов меди (II) на диатомите без учета типа модификации сорбента

Обе модели являются статистически значимыми ( $F_1=192.9, p=1.536 \cdot 10^{-13}$  и  $F_{24}=467.1, p < 2.2 \cdot 10^{-16}$ ). Коэффициенты регрессии обеих моделей достоверно отличны от нуля ( $k_1 = 0.046181, p=1.54 \cdot 10^{-13}$  и  $k_{24} = 0.045422, p < 2 \cdot 10^{-16}$ ). Доля объясненной дисперсии обеих регрессий высока ( $R^2_1 = 0.8812$  и  $R^2_{24} = 0.9473$ ). Однако, эти линейные модели не позволяют оценить влияние типа модификации на эффективность адсорбции.

Линейная модель, построенная с учетом одновременного влияния на переменную (C/A) обоих предикторов (равновесная концентрация адсорбата и тип

модификации адсорбента), дает статистически значимые коэффициенты регрессии для кислотного (H) и щелочного (OH) типов модификации диатомита по сравнению с немодифицированным (природным) для короткого (1 час) интервала течения процессов сорбции ( $k_H = -0.772211, p_H = 0.0133, k_{OH} = -0.679906, p_{OH} = 0.0298$ ). Аналогичная модель для данных, полученных после длительного периода сорбции (24 часа) не дают статистически значимых коэффициентов регрессии ни для одного типа модификации адсорбента. Графики моделей для короткого и длительного интервалов времени сорбции представлены на рисунке 3.

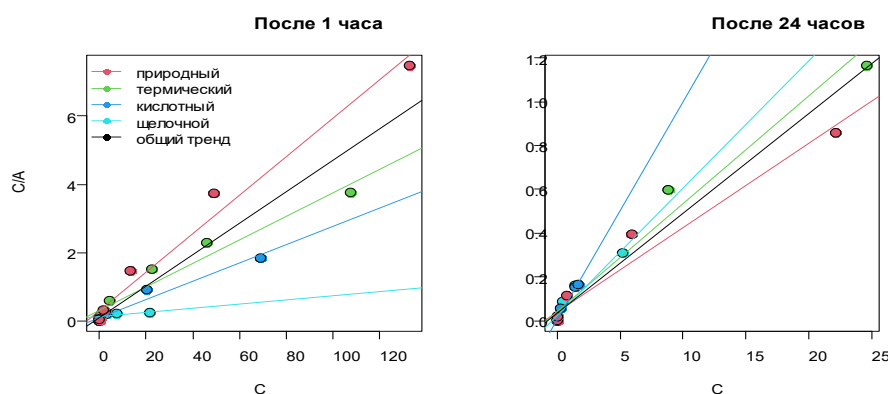


Рисунок 3 – Графики моделей, учитывающих одновременное влияние концентрации адсорбата и типа модификации адсорбента на адсорбцию

Доверительные интервалы коэффициентов регрессии модели, учитывающей влияние обоих факторов на адсорбцию, для кислотного и щелочного типа модификаций адсорбента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Доверительные интервалы коэффициентов регрессии модели, учитывающей влияние обоих факторов на адсорбцию, для кислотного и щелочного типа модификаций адсорбента.

Тип модификации	Пороги доверительного интервала	
	2.5 %	97.5 %
Кислотный (Н)	-1.36789234	-0.17652866
Щелочной (ОН)	-1.28693485	-0.07287687

Распределение значений коэффициентов регрессии в выборках, сгенерированных в пределах порогов доверительных интервалов статистически значимо не отличаются от нормального ( $W_H = W_{OH} = 0.99863$ ,  $p < 0.6429$ ). Значение теста Стьюдента ( $t = -10.661$ ) статистически значимо ( $p < 2.2 \cdot 10^{-16}$ ) при ( $df = 1997.3$ ) степенях свободы, поэтому коэффициенты регрессии кратковременной (1 час) адсорбции ионов меди (II) на диатомите кислотного и щелочного типов модификации при прочих равных условиях достоверно различаются. Разброс значений в выборках, сгенерированных в пределах порогов доверительных интервалов для коэффициентов регрессии кратковременной (1 час) адсорбции ионов меди (II) на кислотном и щелочном модифицированных диатомитах представлены на рисунке 4.

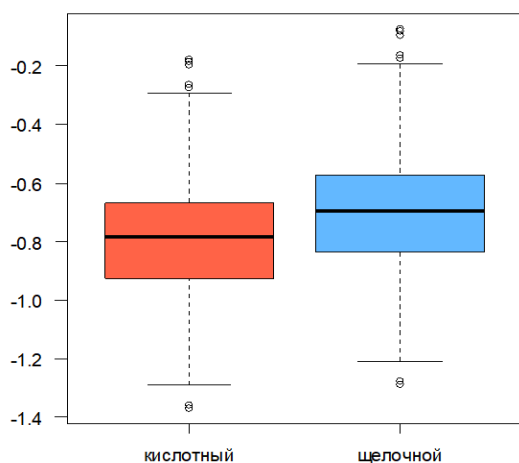


Рисунок 4 – Разброс значений (боксплот) в выборках, сгенерированных в пределах порогов доверительных интервалов для коэффициентов регрессии кратковременной (1 час) адсорбции ионов меди (II) на кислотном и щелочном модифицированных диатомитах

Значения емкости адсорбционного слоя  $A_{\infty}$ , рассчитанные по формуле (2), для каждого типа модификации диатомита сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Значения емкости адсорбционного слоя  $A_{\infty}$  для каждого типа модификации диатомита.

Тип модификации	$A_{\infty}$
Природный	17.72304
Термический	28.89200
Кислотный	37.28829
Щелочной	162.58023

**Заключение.** Таким образом, результаты анализа построенных моделей зависимости адсорбции ионов меди (II) на диатомите различной модификации позволяют выявить статистически значимое положительное влияние щелочной модификации на эффективность процессов кратковременной (1 час) сорбции модельного адсорбата из его стандартных водных растворов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Борисков Д.Е., Кузьмин А.А., Комарова Н.А., Давыдова М.А. (2019). Влияние типа модификации диатомита на его сорбционную способность. *Инновационная техника и технология*. № 3 (20). С. 68 – 74.
2. Тарасевич Ю.И. Адсорбция и адсорбенты. – Москва: Наука, 1987. – 329 с.
3. Лисин С. А. Модифицирование биогенного кремнезема и пути его использования: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук: 03.00.16 / Казань, 2004. 23 с.
4. Влияние щелочной активации на структуру и свойства диатомита / Е. А. Никифоров, В. И. Логанина, Е. Е. Симонов // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. – 2011. – № 2. – С. 30 – 32.
5. Физико-химические основы получения адсорбента на основе диатомита / Максатова, А. М., Везенцев, А. И., Михайлюкова, М. О., Калашникова, Л. А. // *Вестник современных исследований*. – 2017. – №7-1 (10) – С. 162 –169.
6. Wu J., Yang Y.S. and Lin J. Advanced Tertiary Treatment of Municipal Wastewater Using Raw and Modified Diatomite. *J. Hazard Mater.* 2005, 127, 196 – 203.
7. Демидов И.Н., Шелехова Т.С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006, 89 с.
8. Министерство промышленности, транспорта и инновационной политики Пензенской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://prom.pnzreg.ru/>.
9. Борисков Д.Е., Блинохватов А.А. Диатомиты Пензенской области и их использование в качестве универсальных сорбентов при очистке воды для нужд пищевой промышленности // *Инновационная техника и технология*. Пенза, Изд-во «Фролов Дмитрий Иванович» 2018. № 1(14), С. 47 – 49
10. Климов, Е.С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е. С. Климов, М.В. Бузаева. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. 201 с.
11. ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.
12. ТУ 4215-015-35918409-2007 Электроды ионоселективные ЭЛИС-1. Технические условия.
13. Chambers, J. M. (1992) *Linear models*. Chapter 4 of *Statistical Models in S* eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
14. Wilkinson, G. N. and Rogers, C. E. (1973). Symbolic descriptions of factorial models for analysis of variance. *Applied Statistics*, 22, 392–399. doi: 10.2307/2346786.
15. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
16. Fox, J. 2008. *Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models*.
17. Patrick Royston (1982). Algorithm AS 181: The W test for Normality. *Applied Statistics*, 31, 176–180. doi: 10.2307/2347986.
18. Patrick Royston (1982). Algorithm AS 181: The W test for Normality. *Applied Statistics*, 31, 176–180. doi: 10.2307/2347986.
19. Patrick Royston (1995). Remark AS R94: A remark on Algorithm AS 181: The W test for normality. *Applied Statistics*, 44, 547–551. doi: 10.2307/2986146.
20. Myles Hollander and Douglas A. Wolfe (1973), *Nonparametric Statistical Methods*. New York: John Wiley & Sons. Pages 115–120.
21. Myles Hollander & Douglas A. Wolfe (1973), *Nonparametric Statistical Methods*. New York: John Wiley & Sons. Pages 185–194 (Kendall and Spearman tests).
22. Ronald Aylmer Fisher. *Statistical Methods for Research Workers*. Edinburgh: Oliver & Boyd. 1925.

Статья поступила в редакцию 12.05.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021



УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0047

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОИСКА ПРОПАВШИХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

© 2021

**Фролова Нина Анатольевна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

*Амурский государственный университет*

(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

**Аннотация.** Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) имеет стратегическое направление в концепции обеспечения безопасности. Аварийно-спасательные работы являются одним из сегментов в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Бедствия, связанные с обрушением зданий, которые происходят по разным причинам способствуют гибели людей. Из-за повышенной плотности населения вероятность того, что люди окажутся в образовавшихся обломках зданий довольно высока. В следствие обрушения зданий образуются пустоты, которые являются ключевыми объектами для поиска выживших. Типичные методы поиска пострадавших включают визуальный осмотр места происшествия. Поиск пострадавших и доступ к ним – длительный и опасный процесс, поскольку конструкции не всегда устойчивы и подвержены вторичному обрушению. Один из способов своевременного определения жертв и выживших людей - это возможность доступа к местам разрушения конструкций, имеющих отверстия. В статье предлагается использование фотометрического изображения камеры *ASUS Xtion RGB-D* для визуализации отверстий и нахождения пострадавших в них людей. Камера *Asus Xtion RGB-D* позволяет проецировать снимки, полученные в обвалах разрушений с помощью нескольких составляющих: инфракрасного излучателя, стандартной цветной и инфракрасной камеры.

**Ключевые слова:** аварийно-спасательные работы, чрезвычайная ситуация, обрушение зданий.

## USE OF EFFECTIVE METHODS FOR SEARCHING FOR THE MISSED IN PERFORMANCE OF EMERGENCY RESCUE OPERATIONS

© 2021

**Frolova Nina Anatolievna**, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Life Safety  
*Amur State University*

(675027, Russia, Blagoveshchensk, Ignatievskoe highway, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

**Abstract.** The elimination of the consequences of emergency situations (ES) has a strategic direction in the concept of ensuring security. Emergency rescue operations are one of the segments in the elimination of the consequences of emergency situations. Disasters associated with the collapse of buildings that occur for various reasons contribute to the loss of life. Due to the increased population density, the probability that people will end up in the resulting debris of buildings is quite high. As a result of the collapse of buildings, voids are formed, which are key objects for the search for survivors. Typical methods of finding victims include visual inspection of the scene. The search for victims and access to them is a long and dangerous process, since the structures are not always stable and are subject to secondary collapse. One of the ways to identify victims and survivors in a timely manner is to be able to access the sites of destruction of structures that have holes. The article suggests using the photometric image of the ASUS Xtion RGB-D camera to visualize holes and find people injured in them. The Asus Xtion RGB-D camera allows you to project images taken in landslides of destruction using several components: an infrared emitter, a standard color and infrared camera.

**Keywords:** rescue operations, emergency, collapse of buildings.

**Введение.** Деятельность по ликвидации последствий ЧС направлена на проведение аварийно-восстановительных работ в короткие сроки [1]. Для эффективного реагирования на ЧС предварительно разрабатывают планы, снижающие потенциальные риски и обеспечивающие непрерывность операций по ликвидации последствий [2]. Цикл управления ЧС представляет собой стратегию минимизации риска до, вовремя и после стихийных бедствий. Признание и принятие соответствующих мер на каждом этапе цикла позволяет повысить эффективность проведения аварийно-восстановительных работ [3-4].

Механизм управления циклом ЧС состоит из четырех этапов: смягчение, восстановление, готовность и ответ (рис. 1). Ответ представляют собой этап смягчения последствий и обеспечение готовности к вос-

становительному периоду, который включает в себя: выделение необходимых экстренных служб и первых лиц, реагирующих на потенциальную катастрофу для защиты человеческой жизни и уменьшения имущественного ущерба. Этап восстановления включает в себя устранение угрозы жизни человека, а также восстановление разрушенной инфраструктуры. Смягчение последствий сосредоточено на снижении или устранении риска путем предотвращения или уменьшения серьезности бедствий [5-7].

ЧС способствуют обрушению зданий и сооружений. В городских условиях структурное обрушение зданий может привести к тому, что люди оказываются в ловушке образовавшихся обломков. Во время спасательных операций выжившим оказывается помощь, а поиск жертв, находящихся под обвалами зданий про-

должается [8-9]. Поведение аварийно-спасательных работ требуют дополнительных усилий, так как некоторый строительный материал (например, бетон) может вызывать вторичные обрушения. Проблема поиска людей под обвалами разрушенных зданий является актуальной задачей аварийно-спасательных отрядов, участвующих в ликвидации последствий ЧС [10].



Рисунок 1 - Цикл управления ЧС

**Целью** работы явились анализ и предложение эффективного метода поиска пропавших при проведении аварийно-спасательных работ.

Методом исследования явился анализ и обобщение данных МЧС России о существующих методиках поиска пропавших.

**Материалы и результаты исследования.** Поис-

ково-спасательные работы крайне трудоемки в связи с ограничением продолжительности жизни пострадавших под завалами. Статистические данные свидетельствуют о том, что выживаемость пострадавших среди обломков становится маловероятной после 72 часового интервала с момента происшествия [11]. На территории РФ преимущественным методом поиска пропавших является исследование территории спасателями и применение беспилотных летательных аппаратов, которые относятся к длительным операциям, требующим длительного времени на идентификацию возможных мест нахождения пострадавших. Преимуществом использования беспилотных летательных аппаратов для поиска пострадавших является дистанционное обследование не доступных районов [12-14].

Длительное исследование места катастрофы спасателями является травматическим событием с точки зрения психологических расстройств. Исследования показали, что контакт с такого рода переживаниями могут привести спасателей к появлению критического стресса. Поэтому дистанционный осмотр места происшествия является актуальным направлением совершенствования поиска пострадавших с учетом дополнительного исключения появления у спасателей критического стресса [15].



Рисунок 2 – Чрезвычайные ситуации, вызвавшие обрушение зданий

Удобным с точки зрения передвижения по загроможденной обвалами территориями является использование гусеничного наземного робота (рис. 3) или беспилотного летательного аппарата (рис. 4). Недостатком разворачивания беспилотного летательного аппарата является то, что они плохо работают в неблагоприятных условиях и не поддаются управлению в замкнутых пространствах. К недостаткам использования гусеничного наземного робота можно отнести затруднительное передвижение в обвалах зданий. Их лучше применять на более ровных поверхностях [16-18].



Рисунок 3 - Наземный робот Matilda



Рисунок 4 – Беспилотные летательные аппараты

Одним из эффективных методов поиска жертв является – использование георадара, действие которого основано на обнаружении жертв с помощью дистанционного зондирования сердечных сокращений. Данный метод позволит быстро идентифицировать места нахождения пострадавших.

Использование 3D-моделирования для построения дескрипторов интересующего объекта является одним из перспективных векторов идентификации



пострадавших при проведении аварийно-спасательных работ. Основным преимуществом моделирования является их инвариантность к свойствам материала, точке зрения и освещенности по сравнению с методами, основанными на внешнем виде. Кроме того, эти подходы упрощают задачу сегментации рисунка-фона по сравнению с подходами, основанными на внешнем виде. Возрождение интереса к визуализации местности произошло благодаря внедрению недорогих *RGB-D* камер и доступности к считыванию трехмерных моделей (рис. 5).

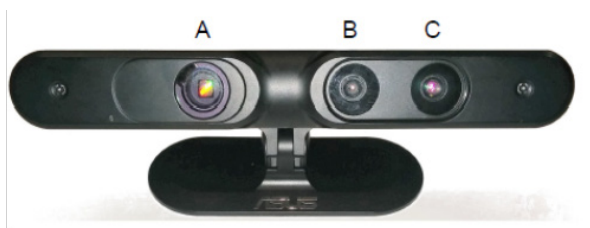


Рисунок 5 – Камера *Asus Xtion RGB-D* использует (A) инфракрасный излучатель (B) стандартную цветную камеру RGB и (C) инфракрасную камеру

В последнее время стали доступны компактные видеокamеры, к которым можно отнести камеру *Asus*

*Xtion RGB-D*. Такие устройства способны вычислять глубину завалов, используя изображения, генерируемые фотометрическими камерами. Щебень, образовавшийся в результате структурного обрушения, не обладает достаточной уникальной текстурой, чтобы обеспечить точную оценку глубины. При этом, глубина кодируется как разница между левой и правой камерой и извлекается путем идентификации набора точек соответствия между двумя изображениями [19].

Инфракрасный излучатель используется в сочетании с инфракрасной камерой для восстановления метрической глубины. В качестве эффективного метода поиска пострадавших, как отмечалось выше можно отнести использование *RGB-D* камер при обследовании территории, которые обеспечивают оценку метрической информации о глубине завалов. Данная информация используется для разделения изображения на набор суперпикселей вдоль границ, которые демонстрируют сильный градиент глубины. Для разделения изображения используется общедоступный суперпиксельный алгоритм. Неправильное количество секций приводит к тому, что смежный объект (например, дыра) либо недосегментирован, либо чрезмерно сегментирован, как показано на рисунке 6 [20].

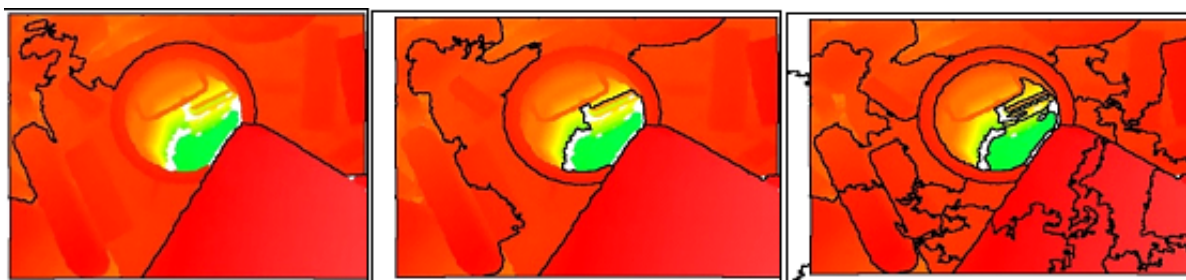


Рисунок 6 – Фотометрическое изображение камеры *ASUS Xtion RGB-D* (слева) с соответствующим на пиксель зарегистрированным глубинным изображением, которое было окрашено для визуализации

Алгоритм работы камеры *ASUS Xtion RGB-D* основан на фотометрической яркости, полученной из *RGB* - изображения. Предполагается, что отверстия, через которые делаются изображения плохо освещены и поэтому кажутся темнее. На *RGB*-изображении ширина области определяется путем подгонки эллипсоида вокруг суперпикселя по метрическим значениям, полученным датчиком глубины, и проецирования точек на плоскость.

Точки, лежащие за пределами трех стандартных отклонений от среднего, фильтруются и проециру-

ются на плоскость. Эллипс подходит к кластеру точек для вычисления большой и малой осей. Это дает приблизительную метрическую ширину и обхват области в метрических единицах. Для того чтобы отверстие считалось подходящим для введения искателя фотометрического изображения, ширина большой оси и обхват малой оси принимается на основе анатомических данных среднего взрослого человека, разрешение изображения  $640 \times 480$  пикселей. Также камера позволяет делать снимки визуализации местности (рис. 7.)

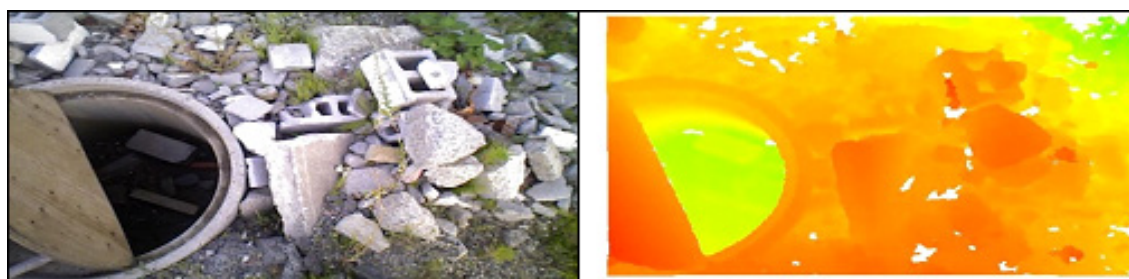


Рисунок 7 – Фотометрическое изображение камеры *ASUS Xtion RGB-D* для визуализации

**Закключение.** Таким образом, камера *Asus Xtion RGB-D* позволяет проецировать снимки, полученные в обвалах разрушений с помощью нескольких составляющих: инфракрасного излучателя, стандартной цветной и инфракрасной камеры, что способствует идентификации жертв, находящихся под завалами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ахтямов Р.Г. Использование сетей петри при планировании мероприятий аварийно-спасательных и других неотложных работ / Наука и безопасность. - 2013. - № 4 (9). - С. 23-25.
2. А. И. Пеньков, Р. А. Кинозеров, А. В. Наливкина. Особенности и порядок проведения аварийно-спасательных работ при выбросе или проливе АХОВ на предприятии // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015. - Т. 2. - С. 215-221.
3. Федеральный закон РФ от 12.02.1998 № 28-ФЗ «О гражданской обороне».
4. Мажуховский Э.И. Технологии гражданской обороны. Аварийно-спасательные и другие неотложные работы // ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2012. - № 7. - С. 88-90.
5. Мингалеев С.Г. Курсаков А.В. Технологии гражданской обороны. Профессиональная подготовка спасателей для проведения аварийно-спасательных работ, 2012 - № 2 - Т. 4. - С. 18-20.
6. Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л. Комплексная оценка риска от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера -. М.: ВНИИ ГОЧС, 2001. – С. 70-87.
7. Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л., Долгин Н.Н. и др. Основы организации и ведения гражданской обороны в современных условиях. М.: Деловой экспресс. – 2005. - 519 с.
8. Тараканов А.Ю., Погребной Ю.П., Иванова М.А. Обеспечение безопасности спасателей в гуманитарных операциях // Современные аспекты гуманитарных операций при чрезвычайных ситуациях и вооруженных конфликтах. Материалы XIV международной научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. – Москва. - 2009. - С. 258-260.
9. Д.З. Прищепов, А.Ю. Тараканов, М.Е. Норсеева. Новые образовательные технологии обучения населения в области жизнедеятельности // Технологии гражданской безопасности. - 2010. - Вып. 4. - Т. 7. - С. 88-93.
10. Тараканов А.Ю., Норсеева М.Е. О подходах к формированию культуры безопасности жизнедеятельности // Безопасность жизнедеятельности. - 2013. - № 5. - С. 52-55.
11. Максимова Е.А., И.А. Поливанный. Организационные и психологические аспекты поисково-спасательных работ при взрыве дома // Экология человека. - 2005.- № 3. С. 3-7.
12. Иванова Т.В., Лукьянова Е.Л., Церфус Д.Н. Представления о чрезвычайной ситуации у спасателей во время работы в зоне ЧС и после // Материалы международной заочной научно-практической посвященной 40-летию Амурского государственного университета. 30 января 2015 – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, – С. 55-64.
13. Кравченко А.И., Тараканов Д.В., Касторных А.В. Организация аварийно-спасательных работ при тушении пожаров в культурно-зрелищных учреждениях // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. - 2018. - Т. 1. - С. 354-356.
14. Тумов А.К. Применение беспилотных летательных аппаратов при проведении аварийно-спасательных работ // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. - 2018. - Т. 1. - С. 662-664.
15. Luo, L., Lin, H., and Schmidt, J. Quantitative relationships between soil macropore characteristics and preferential flow and transport. // Soil Science Society of America Journal. – 2010. – vol. 74(6). – pp. 1929–1937.
16. Macintyre, A. G., Barbera, J. A., and Smith, E. R. Surviving collapsed structure entrapment after earthquakes: A time-to-rescue analysis // Prehospital and Disaster Medicine. – 2006. – vol. 21(01). – pp. 4–17.
17. Matthies, L., Kelly, A., Litwin, T., and Tharp, G. Obstacle detection for unmanned ground vehicles: A progress report // International Symposium of Robotics Research. - 1995. - pp. 475–486.
18. Matthies, L. and Rankin, A. Negative obstacle detection by thermal signature. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2003. – vol.- pp. 906–913.
19. Onosato, M., Takemura, F., Nonami, K., Kawabata, K., Miura, K., and Nakanishi, H. Aerial robots for quick information gathering in USAR // In International Joint Conference of the Society of Instrument Control Engineers and the Institute of Control, Automation and Systems Engineers. – 2012. – pp. 3435–3438.
20. Onosato, M., Yamamoto, S., Kawajiri, M., and Tanaka, F. Digital gareki archives: An approach to know more about collapsed houses for supporting search and rescue activities // IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics.- 2012. – pp. 40.

*Статья поступила в редакцию 05.05.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*