

vek21.penzgtu.ru

18+

ISSN 2221-951X

# XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

*наука*



2020

№ 2(50) Т. 9

Технические науки



# XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Учредитель – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

## **Главный редактор**

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

## **Заместители главного редактора:**

Авровов Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент  
Ефремова 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, доцент  
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», 2020

Основан в 2011 г.

18+

Том 9  
№ 2 (50)  
2020

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 10.06.2020.  
Выход в свет 19.06.2020.  
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

**БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА</b> Соколова Екатерина Владимировна, Емельянова Виктория Александровна.....	10
<b>АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ</b> Староконь Иван Викторович.....	14
<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ РАСТВОРОВ, ДЛЯ НАДЕЖНОГО УКРЕПЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ</b> Панфилова Марина Ивановна, Зубрев Николай Иванович, Новоселова Ольга Викторовна, Ефремова Сания Юнусовна, Шмуневская Анна Олеговна.....	19
<b>ПРОВЕРКА ЗНАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ</b> Сенченко Владимир Александрович, Каверзнева Татьяна Тимофеевна, Салкуцан Владимир Иванович, Скрипник Игорь Леонидович, Воронин Сергей Владимирович.....	24
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ТРЕНИНГОВ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ</b> Фролова Нина Анатольевна.....	30
<b>АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ</b> Крецу Ромина Маратовна, Федорец Александр Григорьевич.....	34
<b>ЭРГОНОМИКА РАБОЧЕГО МЕСТА ПО СИСТЕМЕ «5 С» ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА</b> Степанов Андрей Николаевич, Нарусова Елена Юрьевна, Стручалин Владимир Гайозович, Фомина Надежда Борисовна.....	39
<b>ПОДГОТОВКА ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА К ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧИХ ФУНКЦИЙ</b> Алекин Дмитрий Юрьевич, Сорокин Александр Владимирович, Яговкин Герман Николаевич.....	44
<b>ПОРТАТИВНАЯ ЭКСПРЕСС-ЛАБОРАТОРИЯ ЭКСПРЕСС-ОБНАРУЖЕНИЯ АГРЕССИВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ</b> Пашинин Валерий Алексеевич, Косырев Павел Николаевич, Зубрев Николай Иванович, Панфилова Марина Ивановна, Коростелева Анна Владимировна.....	48
<b>АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ХРАНЕНИЯ УГОЛЬНОГО СЫРЬЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ</b> Альмухаметова Светлана Газинуровна, Орлов Федор Александрович, Гендлер Семен Григорьевич.....	55
<b>КОМПОНОВКА ЩЕЛЕВОЙ РЕЗОНАТОРНОЙ СЕКЦИИ ГЛУШИТЕЛЯ</b> Плицына Ольга Витальевна, Рогова Татьяна Николаевна.....	59

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ЙОГУРТА, ОБОГАЩЕННОГО РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ</b> Анистратова Оксана Вячеславовна, Соклаков Владимир Владимирович.....	62
--	----

---

<b>ВЛИЯНИЕ ПЕКТИНА БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ НА КАЧЕСТВО СДОБНОГО ПЕЧЕНЬЯ</b> Школьникова Марина Николаевна, Ялунина Екатерина Николаевна.....	67
<b>ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА РОСТ И РАЗМНОЖЕНИЕ <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА</b> Шершнёва Наталья Сергеевна, Севастьянова Анна Дмитриевна, Белокурова Елена Сергеевна.....	72
<b>ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ НОЖА ДЛЯ РЕЗАНИЯ РЫБЫ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОГО ТРЕНИЯ</b> Агеев Олег Вячеславович, Наумов Владимир Аркадьевич, Фатыхов Юрий Адгамович.....	78
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕРЕМУХОВОЙ МУКИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕСТОВОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ БЛИНЧИКОВ</b> Смольянова Аля Павловна, Волошина Марина Олеговна, Волшенкова Екатерина Сергеевна.....	84
<b>АНАЛИЗ ПАТЕНТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА</b> Резниченко Ирина Юрьевна, Мотовилов Олег Константинович, Нициевская Ксения Николаевна, Щербинин Вячеслав Вадимович.....	89
<b><i>ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ</i></b>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОРГАНИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ</b> Синев Михаил Петрович, Мартышкин Алексей Иванович, Трокоз Дмитрий Анатольевич.....	95
<b>РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЁННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ</b> Миков Дмитрий Александрович.....	105
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ СЕГМЕНТИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ</b> Акинина Александра Владимировна, Кузнецов Владимир Владимирович, Никифоров Михаил Борисович.....	109
<b>РАЗРАБОТКА ВЕСОВОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПРОГНОЗА ФУТБОЛЬНЫХ МАТЧЕЙ</b> Журавлев Александр Александрович, Рубин Олег Ильич, Аксенов Константин Александрович.....	113
<b>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ГИБКОЙ НИТИ</b> Тарасов Денис Александрович, Большаков Герман Сергеевич, Коновалов Владимир Викторович, Ирышков Алексей Михайлович.....	117
<b>АЛГОРИТМ БЕЗОПАСНОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ОБЛАЧНЫМИ СЕРВИСАМИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA</b> Мартышкин Алексей Иванович, Коростелев Александр Владимирович.....	124
<b>ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДБОРЕ СПЕЦИАЛИСТА НА РАЗРАБОТКУ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КАНДИДАТА</b> Лагерев Дмитрий Григорьевич, Варламов Дмитрий Олегович.....	132

---

<b>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛАХ</b> Тумасов Станислав Валерьевич.....	138
<b>ОБНАРУЖЕНИЕ СПАМА В СМС-СООБЩЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ WORD EMBEDDING И TERM FREQUENCY- INVERSE DOCUMENT FREQUENCY (TF-IDF)</b> Аббаси Мохсин Маншад, Бельтюков Анатолий Петрович, Лал Хусейн, Аббаси Аниес Qamar.....	143
<b>ВОЗМОЖНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОИСКА ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ В «ВКОНТАКТЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ОБ ОЦЕНКАХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДРУГОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ</b> Коростелев Александр Владимирович, Мартышкин Алексей Иванович.....	149
<b>МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ СЕТИ: МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ СЕТЕВЫХ АТАК</b> Данилин Герман Владиславович, Соколов Сергей Сергеевич, Нырков Анатолий Павлович, Кныш Татьяна Петровна.....	158
<b>МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ БИНАРНЫХ ВЫБОРОК ПРИ АНАЛИЗЕ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ</b> Гегерь Эмилия Владимировна, Козлова Ирина Романовна, Юркова Ольга Николаевна, Евельсон Лев Игоревич.....	164
<b>УДАЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ</b> Шамраев Анатолий Анатольевич, Левченко Валентина Андреевна.....	170

---

**CONTENT**
***HUMAN ACTIVITY SAFETY***

<b>IMPROVEMENT OF FIRE PROTECTION OF THE PRODUCTION SECTION OF A CHEMICALLY DANGEROUS OBJECT</b> Sokolova Ekaterina Vladimirovna, Emelyanova Victoria Alexandrovna.....	10
<b>ANALYSIS OF THE ACCURACY OF METHODS FOR DETERMINING ENDURANCE LIMITS FOR WELDED COMPOUNDS OF MARINE STATIONARY PLATFORMS</b> Starokon Ivan Viktorovich.....	14
<b>IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF COMPOSITE SOLUTIONS FOR RELIABLE STRENGTHENING OF FOUNDATIONS</b> Panfilova Marina Ivanovna, Zubrev Nikolay Ivanovich, Novoselova Olga Viktorovna, Sania Yunusovna Efremova, Smolewska Anna Olegovna.....	19
<b>CHECKING KNOWLEDGE OF LABOR SAFETY REQUIREMENTS FOR WORKERS OF THE VOLGOGRAD REGION BY INTERNET TECHNOLOGY</b> Senchenko Vladimir Alexandrovitch, Kaverzneva Tatyana Timofeevna, Salkutsan Vladimir Ivanovich, Skripnik Igor Leonidovich, Voronin Sergey Vladimirovich.....	24
<b>PRACTICAL SUBSTANTIATION OF USE OF 3 D EMERGENCY TRAININGS SECURITY SITUATIONS</b> Frolova Nina Anatolievna.....	30
<b>ANALYSIS OF HEALTH &amp; SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS PERFORMANCE INDICATORS OF METALL &amp; MAINING COMPANIES</b> Kretsu Romina Maratovna, Fedorets Aleksandr Grigorievich.....	34
<b>WORKPLACE ERGONOMICS BY SYSTEM "5 S" TO ENSURE LABOR SAFETY IN EXTREME SITUATIONS OF TRACK COMPLEX</b> Andrei Nikolaevich Stepanov, Elena Yurievna Narusova, Vladimir Gaiozovich Struchalin, Nadezda Borisovna Fomina.....	39
<b>TRAINING PERFORMANCE STAFF FOR OPTIMIZATION OF WORKING FUNCTIONS</b> Alekin Dmitry Yuryevich, Sorokin Alexander Vladimirovich, Yagovkin German Nikolaevich.....	44
<b>PORTABLE EXPRESS LABORATORY FOR EXPRESS DETECTION OF AGGRESSIVE CHEMICALS</b> Pashinin Valery Alekseevich, Kosyrev Pavel Nikolaevich, Zubrev Nikolay Ivanovich, Panfilova Marina Ivanovna, Korosteleva Anna Vladimirovna.....	48
<b>ANALYSIS OF PROBLEMS OF STORAGE OF COAL RAW MATERIALS BY OPEN METHOD</b> Almuhametova Svetlana Gazinurovna, Orlov Fedor Aleksandrovich, Gendler Semyon Grigoryevich.....	55
<b>COMPOSING THE SLOTTED RESONATOR SECTION OF THE SILENCER</b> Plitsyna Olga Vital'evna, Rogova Tatyana Nikolaevna.....	59

---

**FOOD TECHNOLOGY**

<b>RESEARCH ON QUALITY AND SAFETY INDICATORS OF YOGURT ENRICHED WITH PLANT COMPONENTS</b>	
Anistratova Oksana Vyacheslavovna, Soklakov Vladimir Vladimirovich.....	62
<b>INFLUENCE OF CRANBERRY PECTIN ON THE QUALITY OF PASTRY</b>	
Shkolnikova Marina Nikolaevna, Yalunina Ekaterina Nikolaevna.....	67
<b>THE EFFECT OF PECTIN SUPPLEMENTATION ON THE GROWTH AND REPRODUCTION SACCHAROMYCES CEREVISIAE IN BREAD PRODUCTION</b>	
Shershneva Natalya Sergeevna, Sevastyanova Anna Dmitrievna, Belokurova Elena Sergeevna.....	72
<b>THE APPROACH TO KNIFE PROFILE OPTIMIZATION FOR FISH CUTTING BY MINIMAL FRICTION CRITERIA</b>	
Ageev Oleg Viatcheslavovich, Naumov Vladimir Arkadievich, Fatykhov Yuriy Adgamovich.....	78
<b>THE USE OF BIRD CHERRY IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF DOUGH SHELL FOR PANCAKES</b>	
Smolyanova Alya Pavlovna, Voloshina Marina Olegovna, Volshenkova Ekaterina Sergeevna.....	84
<b>ANALYSIS OF PATENT DOCUMENTATION WITH THE USE OF ROSE HIPS</b>	
Reznichenko Irina Yurievna, Motovilov Oleg Konstantinovich, Nitievskaya Ksenia Nikolaevna, Scherbinin Vyacheslav Vadimovich.....	89
<b><i>INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING</i></b>	
<b>RESEARCH AND ANALYSIS OF THE APPROACHES TO ORGANIZING PARALLEL COMPUTING IN DISTRIBUTED SYSTEMS</b>	
Sinev Mihail Petrovich, Martyshkin Alexey Ivanovich Trokoz Dmitrii Anatolevich.....	95
<b>DEVELOPMENT OF A SECURE DATABASE FOR THE TELEMEDICINE SYSTEM</b>	
Mikov Dmitry Alexandrovich.....	105
<b>INTELLIGENT SEGMENTATION OF SATELLITE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS</b>	
Akinina Alexandra Vladimirovna, Kuznetsov Vladimir Vladimirovich Nikiforov Mikhail Borisovich.....	109
<b>DEVELOPMENT OF WEIGHT ALGORITHM FOR FORECAST OF FOOTBALL MATCHES</b>	
Zhuravlev Alexander Alexandrovich, Rubin Oleg Ilyich, Aksenov Konstantin Aleksandrovich.....	113
<b>ESTIMATION OF INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE NONLINEARITY IN MODELING FLEXIBLE THREAD OPERATION</b>	
Tarasov Denis Aleksandrovich, Bolshakov German Sergeevich, Kononov Vladimir Viktorovich, Iryshkov Alexey Mikhailovich.....	117
<b>ALGORITHM FOR SECURE PROCESSING OF BIG DATA BY CLOUD SERVICES USING BIG DATA TECHNOLOGIES</b>	
Martyshkin Alexey Ivanovich, Korostelev Alexander Vladimirovich.....	124

<b>SUPPORT OF DECISION-MAKING DURING THE SELECTION OF A SPECIALIST FOR THE DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PRODUCT USING THE CANDIDATE INFORMATION MODEL</b> Lagerev Dmitry Grigorievich, Varlamov Dmitry Olegovich.....	132
<b>HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR ANALYSIS OF COMPUTER NETWORKS ON SPREAD SPECTRUM SIGNALS</b> Tumasov Stanislav Valerevich.....	138
<b>SPAM DETECTION IN SHORT TEXT MESSAGES (SMS) USING WORD EMBEDDING AND TERM FREQUENCY- INVERSE DOCUMENT FREQUENCY (TF-IDF)</b> Abbasi Mohsin Manshad, Beltiukov Anatoly Petrovich, Lal Hussain, Abbasi Anees Qamar.....	143
<b>THE ABILITY TO AUTOMATE THE PROCESS OF SEARCHING FOR A TARGET AUDIENCE IN VKONTAKTE USING DATA ABOUT THE RATINGS OF USERS OF ANOTHER SOCIAL NETWORK</b> Korostelev Alexander Vladimirovich, Martyshkin Alexey Ivanovich.....	149
<b>MULTISERVICE NETWORKS: METHODS OF INCREASING DATA SECURITY IN THE CONDITIONS OF NETWORK ATTACKS</b> Danilin German Vladislavovich, Sokolov Sergey Sergeevich, Nyrkov Anatoliy Pavlovich, Knysh Tatyana Petrovna.....	158
<b>METHOD FOR COMPARING BINARY SAMPLES IN THE ANALYSIS OF MEDICAL DATA FOR MAKING MANAGERIAL DECISIONS</b> Geger Emiliya Vladimirovna, Kozlova Irina Romanovna, Yurkova Olga Nikolaevna, Evelson Lev Igorevich.....	164
<b>REMOTE METHODS OF MONITORING ELECTRIC TRANSMISSION LINES</b> Shamraev Anatolij Anatolevich, Levchenko Valentina Andreevna.....	170

УДК 699.8

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0001

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА

© 2020

**Соколова Екатерина Владимировна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях»

**Емельянова Виктория Александровна**, кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях»

*Северо-Кавказский федеральный университет*

(355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1, e-mails: sokolova0584@mail.ru, stavropol-nc@mail.ru)

**Аннотация.** Пожары, возникающие на промышленных объектах, нередко сопровождаются гибелью людей и значительными материальными потерями. Качественное проектирование системы противопожарного водоснабжения – это одно из основополагающих условий надежной подачи огнетушащих веществ на пожаротушение, что способствует эффективной борьбе с возгоранием. Объекты, которые в процессе своего функционирования потребляют значительное количество воды и имеют сложные комбинированные системы водоснабжения, обязывают специалистов разрабатывать оптимальные инженерно-технические решения, как для изыскания дополнительных источников воды, так и для системы ее распределения, что позволит повысить оперативность пожаротушения. Развитие системы водоснабжения повышает противопожарную защиту посредством бесперебойного и достаточного обеспечения водой системы специального пожаротушения верхнего и нижнего контура, системы пенного специального пожаротушения и других элементов активной защиты от пожаров и взрывов. Однако анализ результатов проверок свидетельствует о том, что существуют отступления от действующих нормативных требований, в основном касающиеся именно достаточности запаса воды для тушения пожара и размещения средств пожаротушения. Поэтому исследование различных аспектов оптимизации системы противопожарного водоснабжения является крайне значимым и актуальным направлением повышения безопасности функционирования предприятия.

**Ключевые слова:** химически опасный объект, защищенность, противопожарная защита, бесперебойное пожаротушение, система противопожарного водоснабжения, безопасность.

## IMPROVEMENT OF FIRE PROTECTION OF THE PRODUCTION SECTION OF A CHEMICALLY DANGEROUS OBJECT

© 2020

**Sokolova Ekaterina Vladimirovna**, candidate of technical Sciences,  
associate Professor of the department of Emergency protection

**Emelyanova Victoria Alexandrovna**, candidate of economic Sciences,  
associate Professor of the department of Emergency protection

*North Caucasus Federal University*

(355017, Russia, Stavropol, Pushkina st., 1, e-mails: sokolova0584@mail.ru, stavropol-nc@mail.ru)

**Abstract.** Fires that occur at industrial sites are often accompanied by death and significant material losses. The high-quality design of the fire water supply system is one of the fundamental conditions for the reliable supply of extinguishing agents for fire fighting, which contributes to the effective fight against fire. Objects that consume a significant amount of water during operation and have complex combined water supply systems force specialists to develop optimal engineering and technical solutions both for finding additional sources of water and for its distribution system, which will increase the fire combat readiness. The development of the water supply system enhances fire protection due to uninterrupted and sufficient water supply of a special fire extinguishing system of the upper and lower circuits, a special foam fire extinguishing system and other elements of active protection against fires and explosions. However, an analysis of the results of inspections shows that there are deviations from the current regulatory requirements, mainly regarding the adequacy of water supply to extinguish a fire and the placement of fire extinguishing means. Therefore, the study of various aspects of optimizing the fire water supply system is an extremely significant and relevant direction for improving the safety of the enterprise.

**Keywords:** chemically hazardous facility, security, fire protection, uninterrupted fire extinguishing, fire water supply system, safety.

**Введение.** На территории России насчитывается около 2 тысяч химически опасных объектов (ХОО), среди которых немалая доля приходится на предприятия нефтехимической отрасли. При планировании деятельности объекта проекты предусматривают различные сценарии чрезвычайных ситуаций, но

расчет проводится по наихудшему из них. Аварии и катастрофы на ХОО могут привести к массовым поражениям людей и загрязнению природной среды. В условиях роста количества обрабатываемых на рассматриваемых объектах аварийно химически опасных веществ (АХОВ), обладающих пожаро-

и взрывоопасными свойствами, формируются предпосылки возникновения более тяжелых последствий аварий – пожаров и взрывов. Поэтому проблема обеспечения пожарной безопасности на химически опасных объектах является актуальной. Необходимость пересмотра взглядов на повышение защищенности подобных объектов рассмотрена на примере нефтехимического предприятия, основным видом выпускаемой продукции которого является гранулированный полиэтилен низкого давления. Оно относится к опасным производственным объектам (ОПО) первой степени химической опасности [1, 2], значительная часть зданий которого относится к категории А и Б по пожарной опасности [3]. Поэтому обеспечение эффективной и надежной системы противопожарной защиты [4] на подобных объектах является крайне важной задачей, позволяющей свести к минимуму количество погибших и пострадавших, а также возможный материальный и экологический ущерб.

**Целью** работы является определение параметров достаточности системы водоснабжения ХОО для обеспечения его противопожарной защиты.

**Материалы и результаты исследования.** За прошедший год проведена 31 проверка соблюдения обязательных требований пожарной безопасности в цехах и подразделениях предприятия. В результате было предложено к исполнению более 460 противопожарных мероприятий, повышающих степень пожарной безопасности объекта, таких как [5-10]:

1. Необходимо предусмотреть самостоятельную систему водопровода высокого давления поста для обеспечения работы лафетных стволов. Имеющаяся система не может обеспечить необходимое давление в 40 м. вод. ст. у sprыска лафетного ствола. Кроме того, недопустима эксплуатация системы объединенного хозяйственно-питьевого, противопожарного водопровода при давлениях превышающих 60 м. вод. ст.

2. Необходимо предусмотреть размещение средств пожаротушения вдоль автомобильной дороги, соединяющей производственный объект с городом.

3. Предусмотреть в насосной станции объединенного хозяйственно-питьевого, противопожарного водопровода для нужд пожаротушения резервный насосный агрегат или организовать пожаротушение площадок таким образом, чтобы один из существующих насосов был резервным.

4. Для работы насосных спецпожаротушения необходимо обеспечить объем воды не менее чем в 4500 м<sup>3</sup>.

5. Необходимо обеспечить на складе СУГ орошение каждого резервуара не менее чем двумя струями или предусмотреть кольца орошения. Это потребует монтажа дополнительных лафетных стволов.

6. Каждая точка на сливной эстакаде СУГ со стороны ж/д ветки должна орошаться не менее чем двумя струями лафетных стволов.

7. Для защиты емкостей склада ЛВЖ предусмотреть устройство пеногенераторов в количестве не менее

двух штук.

8. Для сливной эстакады мазутного хозяйства предусмотреть стационарные средства пожаротушения необходимые по нормативам.

9. Предусмотреть установку кнопок автоматического запуска пожарных насосов спецпожаротушения на сливных эстакадах СУГ, ЛВЖ, мазутного хозяйства.

10. Предусмотреть для хранения пенообразователя не менее двух резервуаров.

11. Предусмотреть резервный насосный агрегат системы пенотушения.

В целом система противопожарного водоснабжения предприятия является работоспособной и находится в удовлетворительном состоянии. Вместе с тем существуют отступления от действующих нормативных требований, в основном касающихся достаточности запаса воды для тушения пожара [11, 12]. За анализируемый период на объекте произошло 16 порывов на хозяйственно-питьевом трубопроводе и 19 порывов на трубопроводе системы пожаротушения (из них 13 по воде и 6 по пене).

Территорию объекта по распределению требуемого количества воды для нужд пожаротушения возможно разделить на участки, для каждого из которых необходимо различное количество средств пожаротушения. Площадь предприятия составляет 1,32 км<sup>2</sup>, поэтому принимается, что возможно одновременное возникновение и развитие одного пожара на каком-либо из объектов. Наиболее опасными и требующими максимального количества средств являются складские площадки СУГ, ЛВЖ, а так же технологические установки производств.

Одним из мероприятий по совершенствованию системы пожаротушения является одновременное использование для тушения пожаров в складском хозяйстве насосных станций пожаротушения верхнего и нижнего контуров, т.к. для тушения пожара недостаточно расхода воды от одной станции верхнего контура (имеется 111,1 л/с, требуется не менее 206,4 л/с) [13, 14].

На этажах складских помещений расположены внутренние пожарные краны в количестве 28 шт,  $P_{\text{раб}} = 4-5 \text{ кг/см}$ , при пожаре – до 12 кг/см.

Ближайшие водоисточники – ПГ-92-40 м, ПГ-94-25 м, ПГ-95-25 м, ГТГ-100-15 м, ПГ-99-15 м, установлены на кольцевом противопожарном трубопроводе  $D = 200 \text{ мм}$ ,  $Q = 163 \text{ л/с}$

На внутреннее пожаротушение требуется две струи с расходом по 5 л/с [15], таким образом  $Q_{\text{вн.}} = 2 \times 5 \times 10^{-3} = 10 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Радиус компактной части струи ( $R_k$ ) с углом наклона ( $\alpha$ ) 60° на высоте 1,35 м. над полом в помещении высотой 7 м. определяется по формуле (1) [16, 17]:

$$R_k = \frac{T - 1,35}{\sin \alpha} \quad (1)$$

$$R_k = \frac{7 - 1,35}{\sin 60^\circ} = 18,83 \text{ м.}$$

Расход пожарной струи более 4 л/с, поэтому водопроводная сеть должна быть оснащена пожарными

кранами диаметром 65 мм со стволами, имеющими насадки 19 мм и рукава ( $l_p$ ) длиной 20 м [18] с напором у пожарного крана (НПК.) 19,9 м, а компактная часть струи  $R_k = 12$  м. Этому условию соответствуют краны РПТК-МДУ-65.

При орошении каждой точки помещения шириной ( $B$ ) 36 м рукавами длиной ( $l$ ) 20 м двумя струями ( $k = 1$ ) расстояние между пожарными кранами определяется по формуле (2) [19]:

$$L_{кр} = k \sqrt{\left(\frac{R_k}{2} + l_p\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2} \quad (2)$$

$$L_{кр} = 1 \sqrt{\left(\frac{12}{2} + 20\right)^2 - \left(\frac{36}{2}\right)^2} = 18,8$$

На рисунке 1 представлена схема расчета расстояния между пожарными кранами.

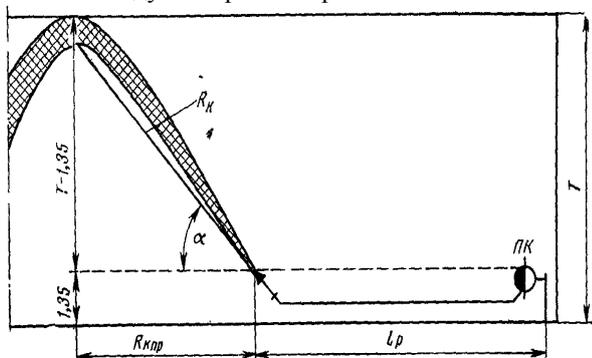


Рисунок 1 – Схема расчета расстояния между пожарными кранами

При таком расстоянии требуется установить 28 пожарных кранов.

Вероятность действия приборов при максимальном расходе одного из них ( $q_0$ )  $2 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с, если норма расхода воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления ( $Q_v$ ) 9,4 л/ч при 12 одинаковых потребителях ( $U$ ) и общем количестве приборов ( $N$ ) 10, определяется по формуле (3) [20]:

$$P = \frac{Q_v \times U}{3600 \times q_0 \times N} \quad (3)$$

$$P = \frac{9,4 \times 12}{3600 \times 0,2 \times 10} = 0,016$$

Максимальный расход воды ( $q$ ) при коэффициенте ( $\alpha$ ), учитывающем число приборов, вероятность их действия и использования (0,773) определяется по формуле (4):

$$q = 5 \times q_0 \times \alpha \quad (4)$$

$$q = 5 \times 0,2 \cdot 10^{-3} \times 0,773 = 0,773 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Величины расхода воды в точках 1 и 4:

$$q_1 = q_4 = \frac{q}{2} = \frac{0,773 \times 10^{-3}}{2} = 0,386 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Распределим сосредоточенные расходы по участкам магистральной сети, принимая за диктующую точку – точку 3 (рис. 2).

Диаметры труб с учетом расчетного расхода воды ( $Q$ ) при скорости ее движения 1,5 м/с определяется по формуле (5):

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} \quad (5)$$

Диаметр труб на участке 0 – 1 с максимальным расходом  $6,086 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 6,086 \times 10^{-3}}{3,14 \times 1,5}} = 0,072 \text{ м.}$$

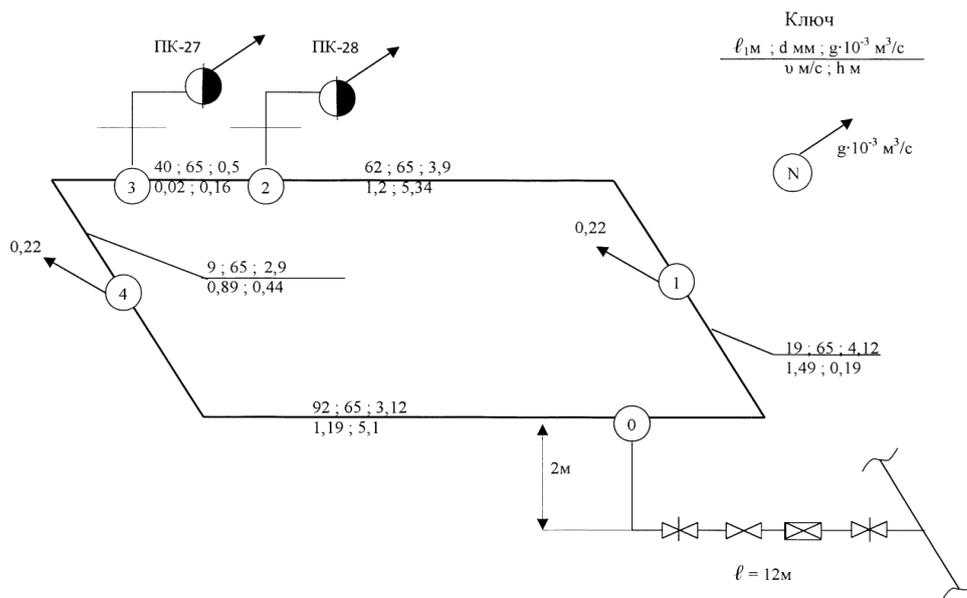


Рисунок 2 – Расчетная схема внутреннего водопровода

Диаметр труб для вводов с максимальным расходом  $11,17 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с:

$$d_{ВВ} = \sqrt{\frac{4 \times 11,17 \times 10^{-3}}{3,14 \times 1,5}} = 0,097 \text{ м.}$$

Принимаем трубы стальные диаметром 80 мм для магистральной сети и трубы чугунные диаметром 100 мм для вводов.

Расчет кольцевой магистральной сети определяется

с учетом поправочного коэффициента ( $\delta$ ), удельного сопротивления труб ( $A$ ) и длины участка трубы ( $l$ ) по формуле (6):

$$h = \delta \times A \times l \times q^2$$

Средняя скорость воды в трубе определяется по формуле (7):

$$V = \frac{q}{785 \times d^2}$$

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчётов внутреннего водопровода

Участок сети	$l$ , м	$d$ , м	$h$ , м	$q$ , л/с	$A$	$\delta$	$V$ , м/с
0–1	18	0,08	1,21	6,086	0,00117	1	1,21
1–2	50	0,08	4,23	5,7	0,00117	1,011	1,13
2–3	16	0,08	0,007	0,5	0,00117	1,5	0,10
0–4	60	0,08	-4,74	5,086	0,00117	1,03	1,01
4–3	48	0,08	-1,42	4,7	0,00117	1,037	0,93

Средние потери напора в сети (табл. 2) определяют по формуле (8) с использованием данных таблицы 1:

$$h_{cp} = \frac{(h_{0-1} + h_{1-2} + h_{2-3}) + (h_{0-4} + h_{4-3})}{2} \quad (8)$$

$$h_{cp} = \frac{(1,21 + 4,23 + 0,007) + (4,74 + 1,42)}{2} = 5,8 \text{ м.}$$

Данному условию соответствует водомер на пропуск расчетного ВВ-80.

Таблица 2 – Расчёт потери напора воды на различных точках и участках водопроводной сети

Показатель потери напора воды	Формула расчета	Расчет
Потери напора в водомере	$h_{вод} = S \times Q^2_{расч.}$	$h_{вод} = 2,07 \times 10^3 \times (11,17 \times 10^{-3})^2 = 0,26 \text{ м.}$ , что меньше допустимой величины 2,5 м.
Потери напора в пожарном стояке	$h_{ст} = A \times l_{ст} \times Q^2$	$h_{ст} = 454,3 \times 7,35 \times (5,2 \times 10^{-3})^2 = 0,09 \text{ м.}$
Потери напора на вводе	$h_{вв} = A \times l_{вв} \times Q^2$	$h_{вв} = 311,7 \times 14 \times (11,17 \times 10^{-3})^2 = 0,54 \text{ м.}$
Потери напора в сети на расчетном направлении 0-ПК-27	$h_c = h_{cp} \times h_{ст} \dots$	$h_c = 5,8 + 0,09 = 5,89 \text{ м.}$

Требуемый напор на вводе, если напор у пожарного крана составляет 19,9 м, определяется по формуле (9):

$$H_{тр.п.ож.} = 1,2 \times (h_c + h_{вв}) + h_{вод} + H_{ПК} + \Delta Z \quad (9)$$

$$\Delta Z = 2,5 + 21 + 1,35 = 24,85 \text{ м.}$$

$$H_{тр.п.ож.} = 1,2 \times (5,89 + 0,54) + 0,26 + 19,9 + 24,85 = 52,73 \text{ м.}$$

Так как величина гарантированного напора ( $H_g$ ), равная 15 м, меньше величины требуемого, необходимо установить насос, обеспечивающий создание напора [21]:

$$H_n = H_{тр.п.ож.} - H_g = 52,73 - 15 = 37,73 \text{ м.}$$

Таким образом, с учетом требований пожарной безопасности систему водоснабжения производственного объекта целесообразно организовать по предло-

женной схеме, оборудовав ее пожарными насосами марки К 45/55, повышающими давление.

**Заключение.** Проведенный гидравлический расчёт внутреннего водопровода показал соответствие выбранной схемы нормативным требованиям, предъявляемым к системе пожаротушения предприятия. Она позволит в случае возникновения пожара обеспечить бесперебойную и качественную подачу огнетушащих веществ, повышая ее способность эффективно функционировать в условиях возгорания и возможного взрыва на объекте повышенного риска.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. ВУПП-88\*. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.
3. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
4. Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
5. ГОСТ 12.1.004-91\*. Пожарная безопасность. Общие требования.
6. СП 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
7. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установка пожарной сигнализации и пожаротушения автоматическим.
8. СНИП 2.04.0-84. Пожарная автоматика зданий и сооружений.
9. ППБ 0-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
10. СНИП 2.01.02-84\* Противопожарные нормы.
11. СП 8.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения.
12. СП 8.13130.2009. Источники наружного противопожарного водоснабжения.
13. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНИП 2.04.02-84\*.
14. СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНИП 2.04.01-85\*.
15. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод.
16. Абросимов Ю. Г. Гидравлика и противопожарное водоснабжение: учебное пособие / Ю. Г. Абросимов, А. И. Иванов. – М.: АГПС России, 2003. – 97 с.
17. Чистяков Я. Н. Противопожарное водоснабжение: учебное пособие / Я. Н. Чистяков, Ю. Ш. Коган. – М.: «Стройиздат», 1990. – 73 с.
18. СНИП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
19. Лобачев П. В. Противопожарное водоснабжение / П. В. Лобачев – М.: «Госстрой», 1985. – 54 с.
20. Сомов М. А. Расчет систем подачи и распределения воды / М. А. Сомов – М.: «Стройиздат», 1989. – 82 с.
21. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции / П. В. Лобачев – М.: «Стройиздат», 1983. – 204 с.

Статья поступила в редакцию 25.04.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020

УДК 622.242.422 622.276.04 622.279.04  
DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0002

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

© 2020

**Иван Викторович Староконь**, 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)*

**Аннотация.** На сегодняшний день активно ведется добыча нефти, газа и других полезных ресурсов на морских месторождениях с применением морских стационарных платформ. Согласно Федеральному закону №116 "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" морские платформы относятся к опасным производственным объектам, аварии на которых сопровождаются значительным ущербом. Для предотвращения аварий на этих объектах проводится экспертиза промышленной безопасности, в ход которой определяется их ресурс. Ключевым параметром для определения ресурса является значение предела выносливости (или предела усталости). В настоящее время применяются различные теории для определения предела усталости. Однако расчеты по этим теориям дают разные результаты. Целью данной статьи является исследование различных методов определения пределов выносливости на примере сварных соединений морских стационарных платформ и выбору метода, позволяющего получить наиболее точное значение этого предела.

**Ключевые слова:** морские, стационарные, платформы, усталость, предел, выносливости.

## ANALYSIS OF THE ACCURACY OF METHODS FOR DETERMINING ENDURANCE LIMITS FOR WELDED COMPOUNDS OF MARINE STATIONARY PLATFORMS

© 2020

**Ivan Viktorovich Starokon**, 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)*

**Abstract.** Today, oil, gas and other useful resources are being actively extracted at offshore fields using offshore stationary platforms. According to Federal Law No. 116 On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities, offshore platforms are classified as hazardous production facilities, accidents at which are accompanied by significant damage. To prevent accidents at these facilities, an industrial safety examination is conducted, during which their resource is determined. The key parameter for determining the resource is the value of the endurance limit (or fatigue limit). Various theories are currently being applied to determine the fatigue limit. However, calculations on these theories give different results. The purpose of this article is to study various methods for determining endurance limits using welded joints of offshore stationary platforms as an example and choosing a method that allows you to obtain the most accurate value of this limit.

**Keywords:** marine, stationary, platforms, fatigue, limit, endurance.

**Введение.** Общеизвестно, что на территории мирового океана (площадью семьдесят пять миллионов квадратных километров) имеются потенциально извлекаемые запасы углеводородных ресурсов. Разработка морских месторождений имеет давнюю историю и традиции. Например, в районе японского города Идзумосаки был сооружен искусственный остров, на котором были расположены буровые установки и иное необходимое для добычи нефти и газа оборудование. Это строительство датировано 1870 годом. Приблизительно к 1900 году были пробурены первые наклонные скважины недалеко от побережья Калифорнии. Активно велось освоение морских месторождений после окончания второй мировой войны. Так, например, с 1947 г. активно разрабатывались месторождения в районе

Мексиканского залива. В то время там были построены первые буровые платформы на свайном основании. Постепенно, с развитием технологий, нефтегазодобывающая инфраструктура все больше удалялась от берега. На начало двухтысячного года подтвержденные запасы газа на шельфе выросли до пятидесяти трех миллиардов кубометров и составили 33 % от мировых запасов газа. Потенциальные ресурсы российских морских нефтегазовых месторождений можно сравнить с потенциальными запасами крупнейших шельфовых месторождений мира. Если пересчитать эти запасы на условное топливо, то получится, что Россия обладает более ста миллиардами тонн условного топлива. Из этого количества 70 % нефтегазовых ресурсов находятся на глубинах менее 100 метров, что существенно об-

легчает их добычу.

Как это было сказано ранее, в настоящее время в мире активно ведется добыча нефти, газа и других полезных ресурсов на морских месторождениях. При разработке и эксплуатации месторождений нефти и газа на шельфе используются различные сооружения. В число этих сооружений входят плавучие буровые установки, самоподъемные буровые установки, морские стационарные платформы и множество типов других специальных сооружений. Особый интерес представляют морские стационарные платформы (МСП). Морские стационарные платформы имеют очень давнюю историю применения. Одним из первых в истории МСП были так называемые форты Гая Мансона (рис. 1), которые были построены в 1942 году в устье Темзы для защиты от немецкой авиации и эксплуатируются до сих пор в самых различных целях.

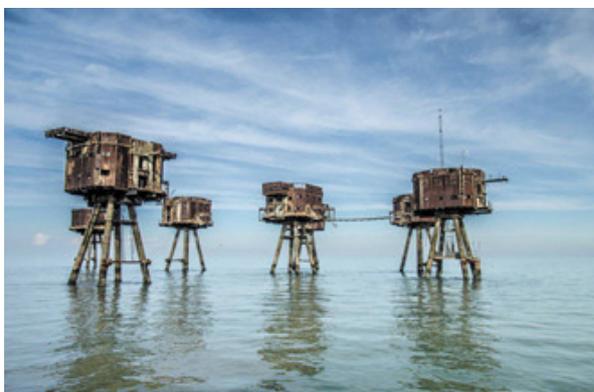


Рисунок 1 – Форты Гая Мэнсона.

В СССР морские стационарные платформы также имеют давнюю историю применения. Еще в 1949 году началась разработка месторождения "Нефтяные Камни", которые расположены на Каспийском море на расстоянии приблизительно 40 км к востоку от Апшеронского полуострова. Для добычи углеводородных ресурсов были построены стальные эстакады, на которых размещалось все необходимое оборудование. В наше время МСП очень часто применяются для добычи углеводородных ресурсов, металлов, минералов и других полезных ископаемых на морских месторождениях как отечественными, так и зарубежными компаниями. В России стационарные платформы расположены в различных регионах. Так, например, в районе Сахалина компанией ПАО «Газпром» эксплуатируются платформы: «Моликпак», «Пильтун-Астохская-Б» и «Лунская-А». МСП «Беркут» и «Орлан» эксплуатируются компанией ПАО «Роснефть». В акватории Каспийского моря компанией ПАО «Лукойл» эксплуатируются ЛСП-2 и платформа D-6. Компанией ФГУП РК «Черноморнефтегаз» эксплуатируются приблизительно 30 морских стационарных платформ на шельфе Черного моря. Морские стационарные платформы применяются для добычи на крупнейших морских месторождениях во всем мире. Таким примером может быть платформа Хайберния, расположенная в Атлантическом океане

недалеко от Канады. В Мексиканском заливе в эксплуатации находятся более четырех тысяч этих сооружений. Т.е. можно уверенно отметить, что МСП используются в практике мировой нефтегазодобычи (как отечественными, так и зарубежными компаниями) и имеют давнюю историю применения.

В соответствии с федеральным законом №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» морские стационарные платформы классифицируются как опасные производственные объекты (ОПО) [1]. Согласно этому закону ОПО характеризуется тем, что для таких объектов имеется высокий риск возникновения аварийной ситуации, которая может сопровождаться существенным экономическим ущербом и повлечь массовые человеческие жертвы. Так, например, при аварии платформы *Alexandr Kinnell* погибло более 120 человек.

На сегодняшний день сложилась такая ситуация, что многие морские платформы (как в России так и за рубежом) имеют длительный срок эксплуатации. МСП эксплуатируются в сложных морских условиях. В этих условиях на платформы воздействуют разнообразные нагрузки. Примером таких нагрузок могут служить волновые, ветровые, ледовые, от навала судов, сейсмические, от течений и др. В результате влияния этих нагрузок возникают переменные напряжения, которые как известно из классической теории механики разрушений приводят к накоплению усталостных повреждений в элементах и сварных соединениях платформ, которую могут спровоцировать аварийную ситуацию. Особую важность проблема накопления усталостных повреждений встает при оценке ресурса отремонтированных сварных соединений морской платформы. В настоящее время ремонт этих соединений осуществляется на основе различных технологий к числу которых можно отнести установку усиливающих накладок, трещиноуловителей или специальных металлических вставок. Ресурс сварных соединений определяется на основе диаграммы усталости, однако к настоящему моменту диаграммы усталости для отремонтированных сварных соединений отсутствуют. Для таких диаграмм ключевым значением является предел усталости (также называемый в литературе пределом выносливости). В нормативно-технической документации приводятся различные методы нахождения пределов усталости, которые дают совершенно различные результаты. Поэтому целью данной статьи является исследование точности различных методов определения пределов выносливости применительно к его определению для сварных соединений морских стационарных платформ, что позволит в дальнейшем определить предел выносливости для каждой из известной технологии ремонта сварных соединений.

**Материалы и результаты исследования.** В настоящее время разработана нормативно-техническая база в которой содержатся диаграммы усталости применительно к новым сварным соединениям

морских стационарных платформ. К числу этой документации можно отнести зарубежную нормативную базу [2, 3], так и отечественную [4]. Согласно нормативным документам [2, 3, 4] предел выносливости сварных соединений морских платформ находится в диапазоне от 20 МПа до 35 МПа, если оперировать терминами размаха напряжений и соответствующим образом построена диаграмма. И от 10 МПа до 18 МПа, если диаграмма построена для амплитуд переменных напряжений. Поэтому целевым показателем для методик расчета пределов выносливости будем считать такое его значение, которое будет близко амплитудам переменных напряжений 10-35 МПа. Отметим также, что базовый предел выносливости сварного соединения без учета остаточных напряжений, шероховатости и иных факторов, описанных ниже, определяется в зависимости от временного сопротивления разрыву и принимается равным 234 МПа.

Общепринята практика, согласно которой предел выносливости (или предел усталости) определяется на основе лабораторных испытаний. При этом полученные в лаборатории результаты необходимо соотносить с реальным сварным соединением учитывая при этом масштабный фактор, шероховатость поверхности сварного соединения платформы, концентрацию напряжений, остаточными напряжениями в сварном соединении и другие факторы [5, 6, 7, 8]. Задачей данной статьи является выбор метода сопоставления, который в технической литературе также носит название масштабирования или переноса, лабораторного значения предела выносливости на реальные сварные соединения морской платформы.

Проанализируем, насколько различные методы вычисления предела выносливости позволяют получить результат, близкий по значению к 10-35 МПа.

Ключевыми данными при определении предела выносливости являются данные о значении временного сопротивления разрыву сварного соединения. Автором были изучены материалы проектов морских стационарных платформ, расположенных на шельфе Черного моря. В результате было установлено, что при монтаже платформ для сварки стальных труб марки ВСт3Сп5 использовались электроды марки Э42А (предел прочности 420 МПа), а для сварных соединений элементов платформы из труб 09Г2С (Д) использовались электроды Э50А (предел прочности 490 МПа).

С целью определения предела усталости металла сварного шва предлагаются различные методы:

**Метод №1.** Предел выносливости можно определить как функции твердости металла по формуле:

$$\sigma_{-1} = 95,5 \left( \sqrt{149 + H} - 12,2 \right) \quad (1)$$

Где  $H = HV/8,2$  ( $HV$ - число твердости);  $\sigma_{-1}$ -предел выносливости, МПа.

Твердость сварных соединений можно определить по формуле:

$$HV = 4160 \cdot C_{\text{э}}^{1,08} \cdot \vartheta_{\text{охл}}^{0,17} \quad (2)$$

где  $C_{\text{э}}$  – эквивалентное содержание углерода;  $\vartheta_{\text{охл}}$  – скорость охлаждения.

Анализ проектов морских платформ показал, что временное сопротивление разрыву металла сварных швов сварного соединения равен 490 МПа [9-14]. Определим влияния фактора масштаба по формуле:

$$K_f = 0,5 \cdot \left\{ 1 + \left[ (1/88,3) (L/\bar{G}_1) \right]^{-0,2} \right\}, \quad (3)$$

Где:  $K_f$  – фактор влияния размера образца или еще он носит название масштабный;  $L$  – длина периметра сварного шва;  $\bar{G}_1$  – значение градиента первого главного напряжения, который рассчитывается как:

$$\bar{G}_1 = \left( \frac{1,6}{r} \right) \sqrt{\sin \varphi} + 2 / \delta \quad (4)$$

где:  $r$  – высота равнобедренного треугольника, вписанного в сварное соединение;  $\varphi$ - угол, равный 45°;  $\delta$ -толщина сварного соединения, выбираемая по меньшему значению из двух свариваемых между собой элементов платформы.

Выполним расчеты по описанной выше методике. Результаты этих расчетов приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Результаты расчета коэффициента влияния фактора размера (масштабного) при переносе лабораторных результатов на сварное соединение морской платформы

	Размер рабочей части периметра шва, м			Относительный градиент первого главного напряжения			Коэффициент масштабирования, $K_f$			Предел выносливости $\sigma_{-1}$ , МПа		
	325	426	530	325	426	530	325	426	530	325	426	530
Диаметры соединяемых элементов, мм												
720	1,035	1,373	1,742	346,3	288,6	288,6	3,81	3,55	3,46	61	66	68
1080	1,027	1,352	1,693	346,3	288,6	288,6	3,78	3,51	3,4	62	67	69

Полученные результаты показывают, что коэффициент влияния масштабного фактора для практически значимых случаев находится в диапазоне от 3,4 до 3,81. Вычисленные из отношения базового предела выносливости сварного соединения (234 МПа) и коэффициента масштабирования пределы выносливости находятся в диапазоне от 61 МПа до 69 МПа и превышают определенную выше границу 35 МПа.

**Метод №2.** Определение предела выносливости в зависимости от временного сопротивления разрыву

Современные энергетические теории рекомендуют принимать коэффициент влияния размера реального сварного соединения на результаты, полученные по итогам лабораторных испытаний, равным 0,58-0,6. При этом необходимо, чтобы значение площади поперечного сечения образца, подвергнутого усталостным испытаниям, была не менее четырех тысяч квадратных миллиметров. Учитывая это обстоятельство, автором принято значение коэффициента

масштабирования равное 0,6. Предел выносливости образцов с шероховатостью более 10мкм рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{1a} = K_{ос} (92 + 0,125\sigma_g), \quad (5)$$

В результате расчетов получим значение приблизительно 92 МПа. Рассмотрим следующие ключевые факторы, позволяющие сопоставить результаты испытаний с реальным соединением:

1. Пропорциональность размеров образцов и реальных объектов;
2. Асимметрия циклов напряжений;
3. Величина остаточных напряжений.

Определим амплитуды первых главных напряжений для знакопеременного цикла по формуле:

$$\sigma_{1a}^{\Pi} = \frac{\sqrt{6}\alpha\sigma_{-1}}{K + [M_a / (1 - R_{\sigma_0}^{ост})](\eta_1 + R_{\sigma_0}^{ост}\eta_2)}, \quad (6)$$

И для знакопостоянного цикла:

$$\sigma_{1a}^{\Pi} = \frac{\sqrt{6}\alpha(1 - c_1 R_{\sigma_0}^{ост} M_{max}^{ост})\sigma_{-1}}{K + \eta_1 M_a}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{0,249\sigma_b + 2,5}{0,35\sigma_b + 70} \quad (8)$$

Рассмотрим влияние остаточных напряжений. При воздействии внешних нагрузок на сварное соединение возникают пластические деформации. В результате этого воздействия начальные остаточные напряжения (после снятия нагрузки) уменьшаются на некоторое значение  $\sigma_{max}^{\lambda}$ , что можно определить по формуле:

$$\sigma_{ост}^{\lambda} = \sigma_m - \sigma_{max}^{\lambda}, \quad (9)$$

Где:  $\sigma_{ост}^{\lambda}$  – остаточные напряжения,  $\sigma_{max}^{\lambda}$  – максимальные напряжения от внешней нагрузки,  $\sigma_m$  – предел текучести металла сварного соединения. Остаточные главные напряжения рассчитываются по формуле:

$$\sigma_{1ост}^{\lambda} = \sigma_m - \sigma_{1max}^{\lambda}; \sigma_{2ост}^{\lambda} = \sigma_m - \sigma_{2max}^{\lambda}, \quad (10)$$

Где:  $\sigma_{1ост}^{\lambda}$  и  $\sigma_{2ост}^{\lambda}$  – первое и второе главные напряжения,  $\sigma_m$  – предел текучести металла сварного соединения,  $\sigma_{1max}^{\lambda}$  и  $\sigma_{2max}^{\lambda}$  – первое и второе главные напряжения от суммарной нагрузки.

Значения коэффициентов асимметрии циклов при наличии остаточных напряжений рассчитывается по формуле:

$$R_{\sigma_0}^{ост} = \frac{(\sigma_{min}^0)_{ост}}{(\sigma_{max}^0)_{ост}} = \frac{\sigma_{1min} + \sigma_{2min} + \sigma_{3min} + \sigma_{1ост} + \sigma_{2ост} + \sigma_{3ост}}{\sigma_{1max} + \sigma_{2max} + \sigma_{3max} + \sigma_{1ост} + \sigma_{2ост} + \sigma_{3ост}}, \quad (11)$$

Где  $\sigma_{1ост}$ ,  $\sigma_{2ост}$ ,  $\sigma_{3ост}$  – первое, второе и третье (главные остаточные) напряжения;  $(\sigma_{min}^0)_{ост}$ ,  $(\sigma_{max}^0)_{ост}$  – октаэдрические напряжения, определяемые как сумма остаточных и напряжений, вызванные в результате воздействия суммы всех нагрузок;  $\sigma_{1max}$ ,  $\sigma_{2max}$ ,  $\sigma_{3max}$  – максимальные главные напряжения цикла;  $\sigma_{1min}$ ,  $\sigma_{2min}$ ,  $\sigma_{3min}$  – минимальные главные напряжения цикла. Остальные значения приведены в работах [15-20].

Автором разработана модель сварного соединения в программном комплексе *SolidWorks* (рис.2). Эта модель демонстрирует достаточно точное распределе-

ние напряжений в сварном соединении платформы. При этом *SolidWorks* обладает встроенным алгоритмом расчета трубчатых соединений с учетом местной концентрации напряжений.

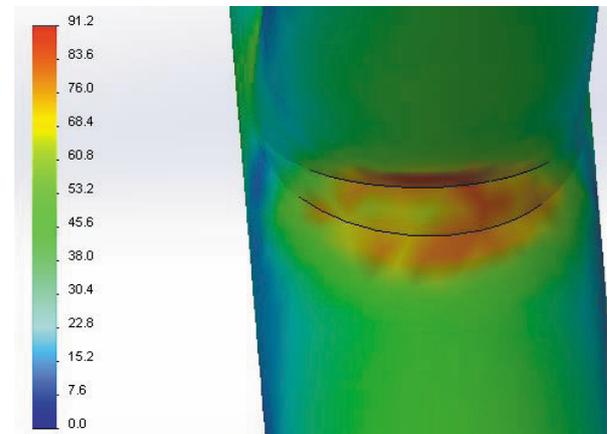


Рисунок 2 – Модель сварного соединения "Г"-типа в системе *SolidWorks* с учетом неравномерности распределения напряжений

Автором проведены расчеты на примере платформы, расположенной на Субботинском газоконденсатном месторождении, в результате которого были установлены максимальные значения амплитуд переменных напряжений, возникающих при действии комбинированной ветро-волновой нагрузки обеспеченностью 1% (рассматривались только соединения "Г"-типа).

По результатам расчета максимальная амплитуда напряжений соединения типа «Г» для условий Субботинского газоконденсатном месторождении составляет 91,2 МПа. Рассчитаем предел усталости соединения "Г"-типа в условиях первого разрушения. Анализ проектов морских платформ показал, что для сварных соединений из стали 09Г2С с номинальной толщиной соединения от 10 до 80 мм предел текучести материала составляет не менее 280Мпа. Соответственно, значения главных остаточных напряжений определяемы по формуле (10) должны быть равны  $\sigma_{1ост} = 188$ МПа и  $\sigma_{2ост} = 273$ МПа.

Рассчитаем предел выносливости для соединения "Г"-типа морской стационарной платформы и полученные результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2- Результаты расчета предела выносливости таврового соединения

Наименование параметра	Результат
Амплитуда первого главного напряжения, $\sigma_{1a}$ , МПа	91,3
Коэффициент асимметрии остаточных напряжений, $R^{ост}$	0,63
Коэффициент влияния растягивающих напряжений, $\eta_1$	0,1
Коэффициент влияния сжимающих напряжений, $\eta_2$	0,4
Коэффициент влияния нормальных напряжений, $\eta_3$	0,24
Предел выносливости с учетом фактических условий эксплуатации, $\sigma_{6,12}^{\lambda}$ , МПа	22

**Заключение.** Расчеты по методу №1 дали результат выше 35 МПа, что не соответствует определенным в настоящей статье требованиям. Это можно объяснить тем, что сварные соединения являются концентраторами как рабочих, так и остаточных напряжений. При совместном действии рабочих и остаточных напряжений критерий масштабирования будет отличаться от критерия масштабирования основного металла элемента морской платформы, так как изменяются параметры, характеризующие распределение предела выносливости образцов с остаточными напряжениями и без них. При наличии остаточных напряжений не выполняется предположение об упругом распределении максимальных напряжений в упругой области. В связи с этим возможность использования метода 1 применительно к оценке предела выносливости сварных соединений морских стационарных платформ должен быть дополнительно обоснован. В результате расчетов установлено, что описанный метод (метод №2) определения предела выносливости в зависимости от временного сопротивления разрыву хорошо удовлетворяет требованиям для вычисления предела выносливости сварных соединений морских стационарных платформ. Использование данного метода позволит в дальнейшем приступить к определению пределов выносливости сварных соединений морских платформ, отремонтированных с применением различных технологий.

#### 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. DNV-RP-C103. Рекомендованная практика. Расчет усталости морских стальных конструкций. – Norway: DNV, 2008. – 158 p.
3. DNVRP 2A-WSD «Рекомендуемая практика планирования, проектирования и сооружения морских стационарных платформ-расчет по допустимым напряжениям»- American Bureau of shipping, New York, 2005-132p
4. Правила Классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ-Российский морской регистр судоходства, СПб., 2014- 484с.
5. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
6. Клыков Н.А. Расчет характеристик сопротивления усталости сварных соединений. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.
7. 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.
8. Труфяков В.И. Усталость сварных соединений.-Киев: Наукова думка, 1973. - 216 с.
9. Ефименко Л.А., Елагина О.Ю., Капустин О.Е. Оборудование зависимости определения углеродного эквивалента малоуглеродистых трубных сталей нового поколения.// Сварочное производство.-2017.-№10.-С. 3-7.
10. Ефименко Л.А., Капустин О.Е., Рамусь А.А., Рамусь Р.О. Регулирование процессов разупрочнения зоны термического влияния при сварке высокопрочных сталей. // Металловедение и термическая обработка металлов.-2016.-№7(773). -Том 79. -С.55-60
11. Ефименко Л. А., Капустин О. Е., Уткин И. Ю., Рамусь А. А., Пономаренко Д.В., Севостьянов С. П., Рамусь Р. О. — Оценка структуры и свойств ремонтных сварных соединений газопроводов из сталей с повышенными показателями деформируемости// Сварочное производство.-2019.-№12.-С. 40-46
12. Уткин И.Ю., Капустин О.Е., Франтов И.И., Севостьянов С.П. Влияние содержания углерода на механические свойства основного металла прокатаи околшовной зоны ниобийсодержащихсталей класса прочности K65. Сварочное производство.-2017.-№9.-С. 3-7
13. Макаров Г.И., Капустин О.Е. Экспериментальная оценка напряженно-деформированного состояния сварных трубопроводов с помощью электрических датчиков сопротивления и аналогово-цифровых преобразователей // Сварочное производство.-2018.-№11.-С. 3-14
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. Лукьянов В.Ф., Рогозин Д.В., Грицькин В.А. Ремонт металлических конструкций морских буровых и нефтедобывающих платформ// Вестник ДГТУ. 2011. Т. 11, №9 (60)-с.1630-1636
16. Староконь И.В. Основы теории и практики образования усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4.
17. Староконь И.В. Усталостная долговечность восстановленных тавровых сварных соединений опорных блоков морских стационарных платформ// Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2015. № 7 (220). С. 51-56.
18. Староконь И.В. Исследование пределов выносливости сварных соединений и конструктивных элементов морских нефтегазовых сооружений//Территория Нефтегаз. 2017. № 1-2. С. 88-92.
19. Староконь И.В. Результаты экспериментально-аналитического исследования срока службы отремонтированных сварных соединений морских нефтегазовых сооружений// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2016. № 12. С. 25-28.
20. Староконь И.В. О результатах экспериментального исследования процессов усталостного разрушения, протекающих в восстановленных сварных соединениях морских нефтегазопромысловых сооружений// Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2016. № 3. С. 118-125.

*Статья поступила в редакцию 06.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 699.82

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0003

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ РАСТВОРОВ,  
ДЛЯ НАДЕЖНОГО УКРЕПЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ**

© 2020

**Панфилова Марина Ивановна**, кандидат химических наук, доцент кафедры ФиСА*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: 012340@mail.ru)***Зубрев Николай Иванович**, кандидат технических наук,

профессор кафедры «Высшая математика и естественные науки»

*Российский университет транспорта (МИИТ)**(125190, Россия, г. Москва, улица Часовая, 22/2, e-mail: nzubrev@mail.ru)***Новоселова Ольга Викторовна**, кандидат физико-математических наук,

старший преподаватель кафедры ФиСА

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: olganovoselova51@rambler.ru)***Ефремова Сания Юнусовна**, доктор биологических наук, профессор,

профессор кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: s\_sharkova@mail.ru)***Шмуневская Анна Олеговна**, студент*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
(129337, Россия, Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: annashmunevskaya@gmail.com)*

**Аннотация.** Рассмотрена возможность выбора бентонитовой глины за счет вовлечения 3D-НКМ — нанокристаллического модификатора в композитный раствор на этапе процесса отверждения. Наиболее информативные показатели, по которым можно ранжировать бентониты для использования их в композитных растворах являются реологические свойства. Среди модифицированных бентонитов высокие реологические показатели имеют бентониты марок П2Т2А и П1Т1. Исследовано структурообразование в композитных растворах с различным содержанием 3D-НКМ – модификатором во времени. Проанализировано изменение прочности до времени отверждения растворов, то есть до перехода его в твердое состояние путем измерения прочности композитного раствора на основе бентонита марки П1Т1 и марки П2Т2А при водоцементном соотношении 2:1 в присутствии 5% жидкого стекла. Установлено, что при введении модификатора в композитный раствор структурообразование системы увеличивается. Выявлено, что наибольшая скорость структурообразования достигается при использовании композитного раствора на основе бентонита марки П2Т2А с оптимальной добавкой 3D-НКМ нанокристаллического модификатора 0,208%, к массе цемента.

**Ключевые слова:** 3D-НКМ — нанокристаллический модификатор, композитные растворы, время отверждения, алюмосодержащие добавки, бентонит, структурообразование.

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF COMPOSITE SOLUTIONS FOR  
RELIABLE STRENGTHENING OF FOUNDATIONS**

©2020

**Panfilova Marina Ivanovna**, candidate of chemical Sciences, associate Professor of the Department of FISA*Research Moscow state University of civil engineering national  
(26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia, e-mail: 012340@mail.ru)***Zubrev Nikolay Ivanovich**, candidate of technical Sciences,

Professor of the Department of Higher mathematics and natural Sciences»

*Russian University of transport (MIIT)**(22/2 chasovaya street, Moscow, 125190, Russia, e-mail: nzubrev@mail.ru)***Novoselova Olga Viktorovna**, candidate of physical and mathematical Sciences,

senior lecturer of the FISA Department

*Research Moscow state University of civil engineering national  
(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: olganovoselova51@rambler.ru)***Sania Yunusovna Efremova**, doctor of biological Sciences, Professor,

Professor of the Department of Biotechnology and technosphere security»

*Penza state University of technology**(440039, Russia, Penza, baidukova passage/Gagarin street, 1A / 11, e-mail: s\_sharkova@mail.ru)***Smolewska Anna Olegovna**, student*Research Moscow state University of civil engineering national  
(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: annashmunevskaya@gmail.com)*

**Abstract.** The possibility of selecting bentonite clay due to the involvement of a 3d-hkm — nanocrystalline modifier in the composite solution at the stage of the curing process is considered. the most informative indicators that can be used to rank bentonites for use in composite solutions are rheological properties. among modified bentonites, p2t2a and p1t1 bentonites have high rheological parameters. structure formation in composite solutions with different contents of 3d-hkm modifier over time was studied. the change in strength before the curing time of solutions, that is, before its transition to a solid state, was analyzed by measuring the strength of a composite solution based on p1t1 and p2t2a bentonite at a water-cement ratio of 2:1 in the presence of 5% liquid glass. it was found that when a modifier is introduced into a composite solution, the structure formation of the system increases. it was found that the highest rate of structure formation is achieved when using a composite solution based on p2t2a bentonite with the optimal addition of a 3d-hkm nanocrystalline modifier of 0.208% to the mass of cement.

**Keywords:** 3d-hkm-nanocrystalline modifier, composite solutions, curing time, aluminum-containing additives, bentonite, structure formation.

**Введение.** Устойчивость и безопасная эксплуатация гражданских сооружений обеспечивается наличием надежных и прочных фундаментов. При длительной эксплуатации постепенно происходит их ослабление и создается опасность их частичного нарушения, которое может привести, в конечном счете, к катастрофическим последствиям. Для укрепления таких фундаментов их пропитывают различными укрепляющими составами, в которые в последнее время в качестве добавок вводят различные модифицирующие добавки, введение которых позволяет получить предельную упаковку и уплотнение системы, за счет изменения физико-химических процессов у поверхности раздела фаз [4].

Примером эффективного применения для получения цементных материалов повышенной прочности являются модификация углеродных трубок, представляющих собой смесь нанотрубок и нановолокна [5–7].

Современные направления в строительстве связывают также, с алумосодержащими нанодобавками к которым относится 3D-НКМ – нанокристаллический модификатор (3D-НКМ) с общей формулой оксигидроксид алюминия  $AlOOH$ , представляющий собой орторомбическую кристаллическую структуру с элементарными ячейками:  $a=2.87, b=12.23, c=3,70 \text{ \AA}$  [8-12] (рис. 1).

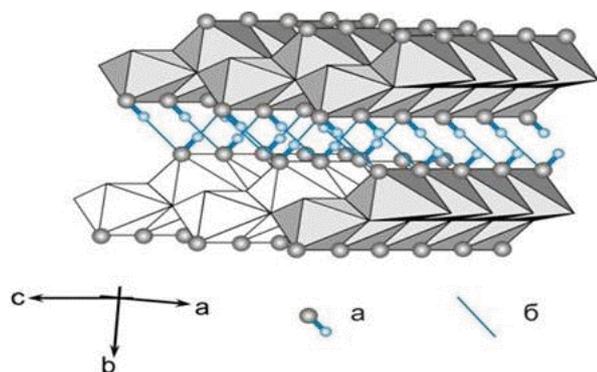


Рисунок 1 - Структура 3D-НКМ — нанокристаллического модификатора: а-ОН; б-водородная связь

В модификаторе ионы алюминия окружены шестью ионами кислорода, расположенными по вершинам неправильных октаэдров а размер агрегатов частиц находится в интервале 1-3 мкм (рис. 1), поэтому добавление такого модификатора способствует об-

разованию прочного цементного камня. Смеси используемые для крепления фундаментов, кроме цемента содержат бентониты, придающие системе устойчивость к расслоению, пластичность и способность легко проникать в трещины основания фундаментов [14-16].

На основании проведенных исследований путем сравнения их физико-химических и механических показателей большого числа различных марок бентонитов было обнаружено, что наилучшими показателями обладают бентониты марок П2Т<sub>2</sub>А и П1Т1. При практически одинаковых технических показателях они отличаются только различным содержанием основного минерала монтмориллонита, определяющего основные свойства бентонитовой глины, такие как пластичность и водоудерживающую способность. На основании минералогического анализа было установлено, что для П2Т<sub>2</sub>А, содержание монтмориллонита составило 75-80%, в то время как у П1Т1 - 90-92% [17].

**Целью** данной работы являлось исследование процесса отверждения композитного раствора на основе бентонита марок П1Т1 и П2Т<sub>2</sub>А модифицированные 3D-НКМ.

**Материалы и результаты исследования.** Основными компонентами композитного раствора являются цемент и бентонит. В исследованиях использовали цемент марки 500. Увеличение прочности инъекционных растворов возможно за счет сродства состава 3D-НКМ модификатора, цемента и бентонита, в состав которых входят частицы алюминия и кремния.

Исследовали структурообразование в композитных растворах с различным содержанием 3D-НКМ во времени. Исследования по изменению прочности проводили для времени отверждения растворов, то есть до перехода их в твердое состояние, путем измерения прочности композитного раствора на основе бентонита марки П1Т1 и марки П2Т<sub>2</sub>А при водоцементном соотношении 2:1 в присутствии 5% жидкого стекла. Прочность затвердевшего композитного раствора определяли на приборе Ребиндера с конусом. Содержание модификатора изменяли в пределах от 0,133% до 1% к массе цемента.

В полученных растворах определяли прочность при его структурообразования до полной потери текучести (рис.2, 3).

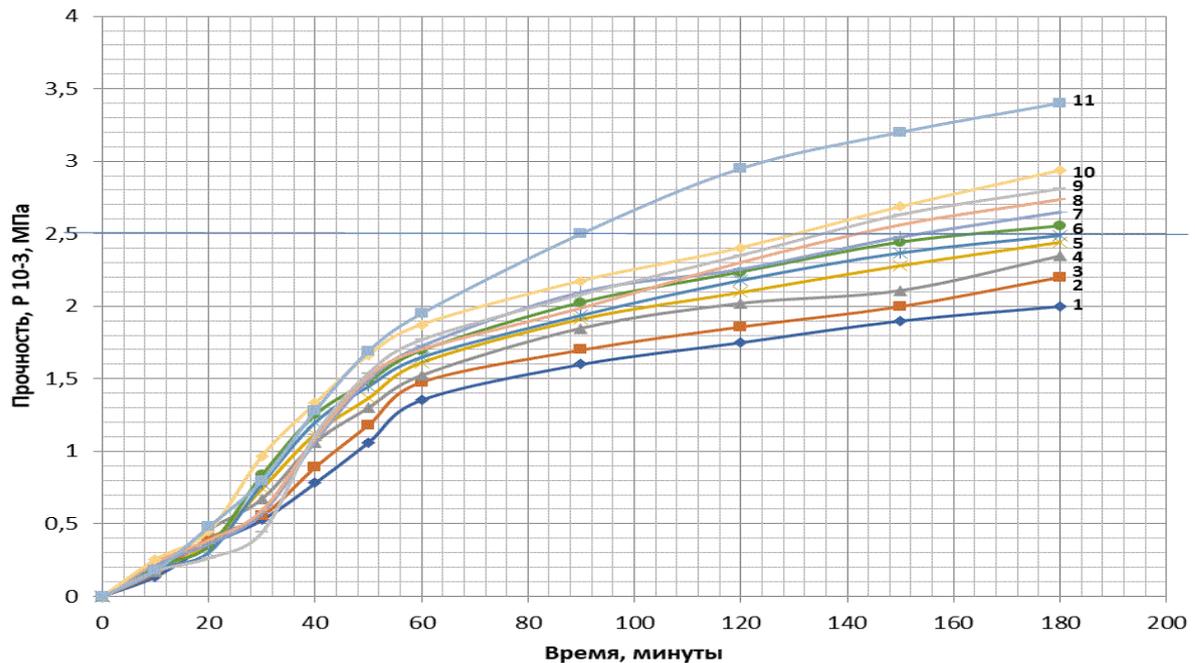


Рисунок 2 – Структурообразование смеси с бентонитом ПТТ1 при содержании модификатора, в % к весу цемента: 1 – 0,000; 2-0,041; 3-0,100; 4-0,133; 5-0,700; 6-1,000; 7-0,700; 8-0,208; 9-0,249; 10-0,352; 11-0,306.

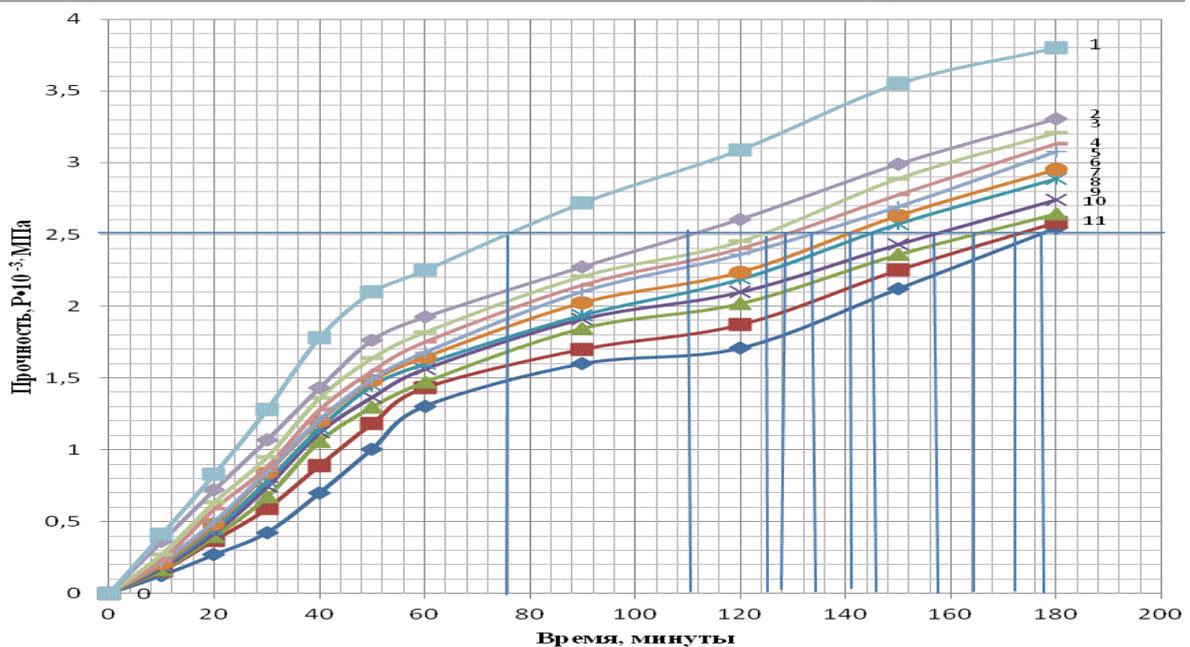


Рисунок 3 – Структурообразование смеси с бентонитом ПТТ2А при содержании модификатора, в % к весу цемента: 1 – 0,208; 2-1,000; 3-0,700; 4-0,600; 5-0,352; 6-0,306; 7-0,249; 8-0,133; 9-0,100; 10-0,041; 11-0,000%

При введении наномодификатора в композитные системы скорость структурообразования смеси увеличивается для всех концентраций. Однако возрастание ее происходит нелинейно и при определенных концентрациях она увеличивается на 305, а затем происходит ее замедление. Для композитных растворов важным показателем является время потери текучести или так называемое время схватывания.

Обычно, для доставки инъекционного раствора

к месту закрепления необходимо сохранение подвижности раствора в зависимости от геолого-гидрологических условий и может изменяться от 40 мин до 3 часов.

Для определения времени отверждения смеси проводили прямую параллельно оси абсцисс, по местам пересечения со значением  $2,5 \cdot 10^{-3}$  МПа, при которой происходит потеря текучести определяли продолжительность схватывания. На рисунках 4

и 5 приведены зависимость времени схватывания композитных растворов от содержания модификатора. Из графика видно, что наименьшим временем отверждения обладает смесь, содержащая 0,306% 3D-НКМ к массе цемента - 98 минут.

На рисунке 5 показана начальная стадия струк-

турообразования композитного раствора на основе бентонита марки П2Т<sub>2</sub>А при различном содержании 3D-НКМ. Время достижения потери текучести раствора при добавлении 3D-НКМ уменьшается в 2,3 раза или на 130% меньше по сравнению с контрольным образцом.

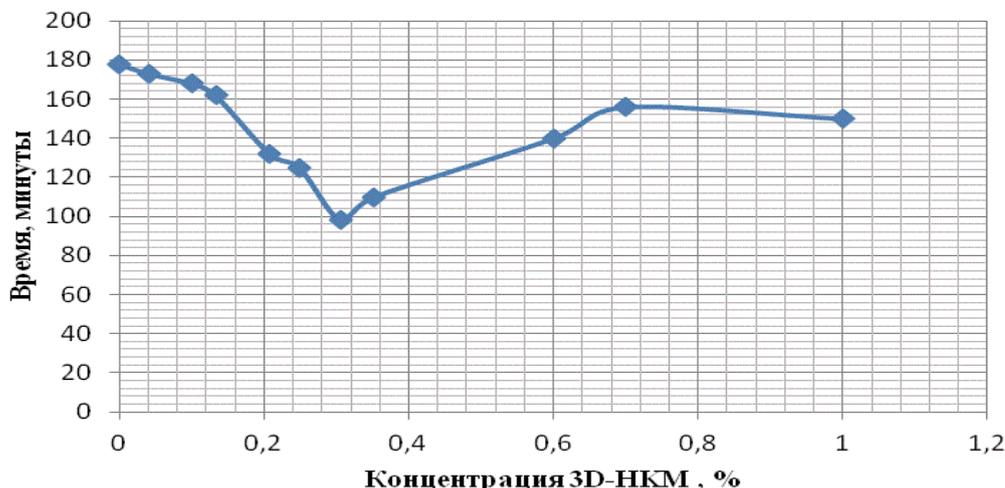


Рисунок 4 – Зависимость времени отверждения от содержания 3D-НКМ в смеси на основе бентонита марки П1Т1

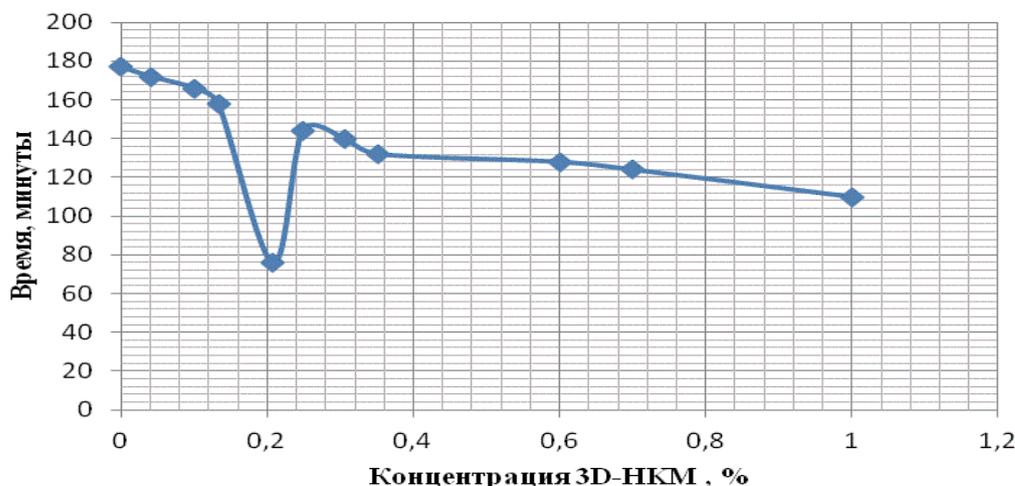


Рисунок 5 - Зависимость времени отверждения от содержания модификатора в смеси на основе бентонита марки П2Т<sub>2</sub>А

Наибольшее снижение времени отверждения было отмечено при введении 0,306% добавки модификатора в присутствии П1Т1 и соответствует примерно 98 минут (рис.4). Однако при использовании бентонита П2Т<sub>2</sub>А продолжительность схватывания раствора снижается при введении меньшей дозы модификатора. Так при введении 0,208% модификатора 3D-НКМ к массе цемента, время отверждения композитного раствора уменьшается до 76 минут (рис.5) для П2Т<sub>2</sub>А.

Из графиков (рис.4,5) установлено, что наибольшая скорость структурообразования достигается при использовании композитного раствора на основе бентонита марки и П2Т<sub>2</sub>А с оптимальной добавкой модификатора 0,208%, к массе цемента.

**Заключение.** Таким образом, установлено, что на

основании проведенных исследований и физико-химических характеристик дальнейшие исследования композитных растворов на основе 3D-НКМ целесообразно проводить с бентонитом марки П2Т<sub>2</sub>А.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Должиков П.Н., Странниченко С.Г., Шубин А.А. Технические решения по тампонажу и закладка подземных пустот // Горный информационно-аналитический бюллетень МГТУ. 2005. - №11. - С.130-133.
2. Панфилова М.И., Зубрев Н.И., Устинова М.В., Леонова Д.А., Медведев В.В., Гульшин И.А. Перспективные направления развития композитов с добавками серы // Научное обозрение.- 2015, №14, С. 172-175.
3. Panfilova M., Zubrev N., Novoselova O., Efremova S. Composite grouting mortar based on 3D-NKM - Nanocrystalline

inoculant // MATEC Web of Conferences. - Volume 196. – 2018 г.

4. Орешкин Д.В. Модификация тампонажных материалов с полыми стеклянными сферами нанотехнологическими методами // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 12. – С. 43 – 47.

5. P.M. Ajayan. Nanotubes from carbon. [Углеродные нанотрубки]. Chem. Rev. 1999, 99:1787–99.

6. J-P. Salvetat, J-M. Bonard, N.H. Thomson, A.J. Kulik, L. Forro, W. Benoit, et al. Mechanical properties of carbon nanotubes [Механические свойства углеродных нанотрубок]. Appl. Phys. Mater Sci. Process 1999, 69:255–60.

7. D. Srivastava, C. Wei, K. Cho. Nanomechanics of carbon nanotubes and composites. [Наномеханика углеродных нанотрубок и композитов]. Appl. Mech. Rev. 2003, 56:215–30.

8. Бричка С.Я. Природные алюмосиликатные нанотрубки: структура и свойства / С.Я. Бричка // Наноструктурное материаловедение. – 2009. – № 2. – С. 40 – 53.

9. Л.Ю. Котел, А.В. Бричка, А.Л. Петрановская, С.Я. Бричка. Рентгенографический анализ галлозитных нанотрубок, модифицированных оксидом церия (IV) / II Всеукраинская конференция молодых ученых «Современное материаловедение: материалы и технологии», Киев, Украина, 2001. - С. 125.

10. Бухало, А. Б. Теплоизоляционный неавтоклавный пеногазобетон с нанодисперсными модификаторами: Авто-реф. дис. ... канд. техн. наук – Белгород, 2010. - 27с.

11. А.В. Берш, Ю.Л. Иванов, Ю.А. Мазалов, С.И. Корманова, А.В. Лисицын. Патент на изобретение «Способ получения бемита и водорода» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. (Заявка 2007146570/15, 18.12.2007 // Описание изобретения к патенту. Опубликовано 11.08.2009.

12. Назаров В. В., Валесян Е. К., Медведкова Н. Г. Влияние условий синтеза на некоторые свойства гидрозолей бемита // Коллоидный журнал. -1998. -Т.60. - №3. - С. 395 - 400.

13. Голикова Е.В., Иогансон О.М., Федорова Т.Г. и др. Электроповерхностные свойства и агрегативная устойчивость водных дисперсий а-А120з, у- А120з и у- А120(ОН) // Поверхность. 1995. - №9. - С.78 - 79.

14. Kojima Y., Usuki A., Kawasumi M., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O. Synthesis of nylon 6-clay hybrid by montmorillonite intercalated with  $\epsilon$ -caprolactam // J. Polym. Sci., Part A, 1993, V.31. – P. 983-986.

15. Kojima Y., Usuki A., Kawasumi M., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O. One-pot synthesis of nylon 6-clay hybrid // J. Polym. Sci., Part A, 1993, V.31. – P. 1755-1758.

16. Yano K., Usuki A., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O. Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid // J. Polym. Sci., Part A, 1993, V.31. – P. 2493-2498.

17. Устинова М.В., Зубрев Н.И. Композитные системы с добавлением золы (монография) М.: ИНФРА-М, 2018. - 71с.

*Статья поступила в редакцию 20.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 614.8.015

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0004

## ПРОВЕРКА ЗНАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ

© 2020

**Сенченко Владимир Александрович**, руководитель

*Волгоградский центр охраны труда и экологии*

*(400066, Россия, г. Волгоград, ул. Донецкая 7/142, e-mail: Vladimir.Senchenko1973@gmail.com)*

**Каверзнева Татьяна Тимофеевна**, кандидат технических наук, доцент,

доцент Высшей школы Техносферной безопасности

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Санкт – Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: kaverztt@mail.ru)*

**Салкуцан Владимир Иванович**, кандидат технических наук,

доцент, доцент Высшей школы Техносферной безопасности

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Санкт – Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: salk-vladimir@yandex.ru)*

**Скрипник Игорь Леонидович**, кандидат технических наук, доцент,

профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России*

*(196105, Санкт – Петербург, Московский пр-т., 149, e-mail: ig.scripnick2011@yandex.ru)*

**Воронин Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России*

*(196105, Санкт – Петербург, Московский пр-т., 149, e-mail: wsw1@yandex.ru)*

**Аннотация.** Эксплуатационные организации по структуре обслуживаемых объектов имеют удаленные рабочие места, к которым относятся, например, связисты, энергетики, нефтяники, газовики и другие. С развитием связи и технологий передачи данных все больше предприятий города используют работников, которые работают в дистанционном режиме. В условиях распространения любых инфекций, в том числе коронавируса, работа в удаленном режиме становится единственно возможным и безопасным способом. В статье обоснована целесообразность проведения проверки знаний требований охраны труда с использованием Интернет-технологий. Проведена оценка транспортных расходов и трудовых затрат, связанных с перемещением комиссии рейсовым автобусом из Волгограда в количестве трех человек на проверку знаний требований охраны труда у десяти работников в г. Сувоикино Волгоградской области, которая обосновала экономию средств при переходе на дистанционную форму проверки знаний. Анализ нормативных документов в области охраны труда показал, что переход от очной формы приема проверки знаний работников рабочих профессий к дистанционной не противоречит российскому законодательству. Переход проверки знаний в дистанционный режим целесообразен для организаций, где характерной чертой является наличие разнообразных удаленных рабочих мест. В таких организациях также возможен дистанционный способ проведения вводного инструктажа. Приведен алгоритм процедуры проверки знаний требований охраны труда с использованием дистанционных технологий, который пошагово позволит руководителям подразделений реализовать проверку знаний работников в дистанционном режиме.

**Ключевые слова:** проверка знаний, требования охраны труда, дистанционное обучение, удаленные рабочие места.

## CHECKING KNOWLEDGE OF LABOR SAFETY REQUIREMENTS FOR WORKERS OF THE VOLGOGRAD REGION BY INTERNET TECHNOLOGY

© 2020

**Senchenko Vladimir Alexandrovitch**, head

*Volgograd Center for Labor Protection and Ecology*

*(400066, Russia, Volgograd, Donetsk str: 7/142, e-mail: Vladimir.Senchenko1973@gmail.com)*

**Kaverzneva Tatyana Timofeevna**, phd in eng.sc., associate professor,

associate professor of the Higher school of Technosphere safety

*St. Petersburg Polytechnic University Peter the Great*

*(195251, St. Petersburg, Polytechnic str., 29, e-mail: kaverztt@mail.ru)*

**Salkutsan Vladimir Ivanovich**, phd in eng.sc., associate professor,

associate professor of the Higher school of Technosphere safety

*St. Petersburg Polytechnic University Peter the Great*

*(195251, St. Petersburg, Polytechnic str., 29, e-mail: salk-vladimir@yandex.ru)*

**Skripnik Igor Leonidovich**, phd in eng.sc., associate professor,

professor of department of fire safety of technological processes and productions  
*St. Petersburg University GPS Ministry of Emergency Situations of Russia*  
(196105, St. Petersburg, Moscow art., 149, e-mail: [ig.skripnick2011@yandex.ru](mailto:ig.skripnick2011@yandex.ru))

**Voronin Sergey Vladimirovich**, phd in eng.sc., associate professor,  
associate professor of fire safety of technological processes and productions  
*St. Petersburg University GPS Ministry of Emergency Situations of Russia*  
(196105, St. Petersburg, Moscow art., 149, e-mail: [wsw1@yandex.ru](mailto:wsw1@yandex.ru))

**Abstract:** According to the structure of the facilities being serviced, operating organizations have remote jobs, which include, for example, signalmen, power engineers, oil workers, gas workers, and others. With the development of communications and data transfer technologies, more and more enterprises in the city use workers who work in remote mode. In the context of the spread of any infections, including coronavirus, remote work becomes the only possible and safe way. The article substantiates the feasibility of conducting a knowledge test of labor protection requirements using Internet technologies. An assessment of transportation costs and labor costs associated with the movement of the commission by a regular bus from Volgograd in the amount of three people to test the knowledge of labor protection requirements for ten employees in the city of Surovikino, Volgograd Region, which substantiated the cost savings when switching to a remote form of knowledge verification. An analysis of regulatory documents in the field of labor protection showed that the transition from full-time acceptance of testing the knowledge of workers in working professions to distance learning does not contradict Russian legislation. The transfer of knowledge testing to the remote mode is advisable for organizations where a characteristic feature is the presence of a variety of remote jobs. In such organizations, a remote method of conducting induction training is also possible. The algorithm of the procedure for checking the knowledge of labor protection requirements using remote technologies is presented, which step by step will allow heads of departments to implement remote knowledge testing of workers.

**Key words:** knowledge testing, labor protection requirements, distance learning, remote jobs.

**Введение.** В соответствии с Постановлением Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. N 1/29 "Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций" (далее Постановление 1/29), обучение и проверку знаний требованиям охраны труда проходят все работники предприятия: при приеме на работу (в течение 1 месяца), во время работы с периодичностью 1 раз в год или 1 раз в 3 года. Причем, проверка знаний подразумевает в соответствии с Постановлением 1/29 сдачу экзамена комиссии.

Компания ПАО «РТК» занимается предоставлением услуг связи и имеет удаленные рабочие места по всей Волгоградской области. Площадь Волгоградская область занимает 112 877 км<sup>2</sup>, компания предоставляет услуги связи на всей территории Волгоградской области. Волгоградская область состоит из 6 городских округов и имеет 32 муниципальных района. Для оказания услуг связи, а также эксплуатации линий связи, в каждом городском округе и муниципальном районе имеются технические работники компании. Дирекция, руководители отделов и служб (главные специалисты) предприятия территориально размещены в г. Волгограде, в муниципальных районах - руководители подразделений. Специалисты по охране труда находятся в Волгограде, Михайловке, г. Жирновске и Волжском.

В соответствии с Постановлением 1/29 в организациях создается комиссия по проверке знаний требований охраны труда в составе не менее трех человек, прошедших обучение по охране труда и проверку знаний требований охраны труда в аккредитованной организации. Так как круг должностных лиц, указанных в Постановлении 1/29, достаточно широк и работники территориально не находятся в одном ме-

сте, комиссии по проверки знаний норм охраны труда формируются с учетом территориальной удаленности тех или иных рабочих мест. Практика показывает, что работнику (или членам комиссии) иногда приходится проделывать путь в 200 - 300 км, чтобы собрать всех участников в одном месте и процедура проверки знаний состоялась должным образом. Для преодоления расстояние в 200 – 300 км, требуются определенные финансовые (оплата командировочных, затраты на эксплуатацию транспортных средств или проездной билет) и временные затраты. Помимо прямых временных затрат на поездку, работникам или членам комиссии может потребоваться время на восстановление сил. Так, опрос работников и членов комиссии показал, что, преодолев на машине (даже в качестве пассажира) расстояние в 200 - 300 километров, человек устает и может нуждаться в отдыхе.

В настоящее время связи с распространением в мире коронавирусной инфекции ряд компаний начали вводить карантин в своих подразделениях и отправляют работников трудиться в условиях удаленного доступа, чтобы остановить пандемию. Но не все предприятия имеют такую возможность, многие предприятия продолжают трудиться; обучение и проверку знаний требований охраны труда в этих условиях никто не отменял. Если проводить проверку знаний требований охраны труда дистанционно, используя Интернет-технологии, то можно избежать транспортных расходов и трудовых затрат, связанных с перемещением сотрудников на проверку знаний требований охраны труда, а также соблюсти режим изоляции.

Известно, что дистанционное обучение широко используется в настоящее время в образовательной среде во всех университетах нашей страны. Этот вид обучения организуется преимущественно в сети Ин-

тернет и использует современные способы коммуникации в аудио и видео приложениях [1-5]. Роль технических средств обучения в современных условиях развития общества высока [6], происходит постоянное развитие информационной среды в условиях реализации сетевой формы [7]. Любая инновационная деятельность предполагает использование современных способов коммуникации [8-15]. Пришло время активно использовать интернет технологии в охране труда для решения задач, связанных с обучением работников правилам и нормам безопасности и обратить внимание на возможность решения ряда практических задач в области охраны труда дистанционно.

Постановление 1/29 (пункты) разрешает проводить дистанционное обучение работников, но дистанционную проверку знаний никак не регулирует. Также Постановление 1/29 не регулирует проведение инструктажей в дистанционной форме. Отсутствие алгоритма дистанционной проверки знаний требований охраны и инструктажей по охране труда сдерживает данный процесс на Российских предприятиях.

**Цель исследования** – выработать алгоритм проведения дистанционного обучения и проверки знаний охраны труда, который отвечал бы действующему законодательству, и на примере компания ПАО «РТК» обосновать экономию средств при переходе на дистанционную форму обучения и проверки знаний норм охраны труда.

**Материалы и результаты исследования.** Были оценены транспортные расходы, связанные с перемещением комиссии из трех человек рейсовым авто-

бусом из Волгограда до места работы десяти сотрудников ПАО «РТК» в г. Суrowsикино Волгоградской области. Расстояние между г. Волгоградом и г. Суrowsикино Волгоградской области составляет 138 километров. В г. Суrowsикино необходимо провести проверку знаний у 10 работников. В качестве транспорта выбран автобус (транспортные затраты на автомобиль с водителем будут выше). Результаты оценки только транспортных расходов, связанных с перемещением комиссии рейсовым автобусом в г. Суrowsикино, показали, что при стоимости билета в одну сторону на одного человека 374 рубля, расходы составили 2224 рублей. В действительности экономия средств будет больше, поскольку не были взяты в расчет ряд факторов, связанных, например, с затратами на повторную проверку знаний для работников, не прошедших проверку знаний с первого раза; аварийные и срочные ситуации; внеочередные проверки знаний и другие. Следует также иметь в виду, что после длительной поездки требуется некоторое время для восстановления физических сил, состояние усталости характерно не только для водителя, но и для пассажиров. В таблице 1 приведены данные ПАО «РТК» Волгоградской области о среднем числе проверок знаний требований охраны труда в 2018 году и 2019 годах. В 2018 году была проведена проверка знаний требований охраны труда у 1486 работников. В 2019 году у 775 работников предприятия. Соответственно, экономическая выгода только от транспортных средств от внедрения дистанционной формы проверки знаний могла бы составить около 850240 рублей и 611420 рублей.

Таблица 1 – Количество работников, прошедших проверку знаний требований охраны труда, и количество поездок, совершенных членами комиссии для приема экзаменов по проверке знаний в 2018 и 2019 году, по районам Волгоградской области в ПАО «РТК».

Наименование районов Волгоградской области	Расст. от Волгограда, км	Кол-во, чел.	Проверка знаний требований охраны труда в 2018 году, чел			Кол-во поездок в 2018, шт.	Проверка знаний требований охраны труда в 2019 году, чел			Кол-во поездок в 2019, шт.
			Перв	Повт	Внепл		Перв	Повт	Внепл	
Урюпинский	333,0	41	3	41	41	4	3	41	0	2
Быковский	147	19	1	19	19	3	1	19	0	2
Городищенский	14	32	1	31	32	3	1	31	0	2
Даниловский	235	15	1	15	15	3	1	15	0	2
Новониколаевский	310	18	1	18	18	3	1	18	0	2
Дубовский	50,1	17	2	17	17	4	2	17	0	2
Еланский	314	16	1	16	16	3	1	16	0	2
Октябрьский	153	15	1	15	15	3	1	15	0	2
Иловлинский	85,9	12	1	12	12	3	1	12	4	3
Калачевский	78,7	36	4	36	36	6	4	36	0	4
Камышинский	195	89	5	83	89	6	5	83	0	4
Киквидзенский	291,1	12	1	12	12	3	1	12	1	3
Клетский	177	14	0	14	14	2	0	14	0	1
Котельниковский	205	18	0	18	18	2	0	18	0	1
Котовский	227	23	2	23	23	3	2	23	0	2
Старополтавский	286,0	19	2	19	19	4	2	19	4	2
Кумылженский	215	13	1	13	13	3	1	13	0	2
Ленинский	60,3	17	1	17	17	3	1	17	1	3
Михайловский	189	56	4	54	56	5	4	54	0	3
Нехаевский	364	14	0	14	14	2	0	14	2	2
Николаевский	178	16	0	16	16	2	0	16	0	1
Новоаннинский	254	19	1	19	19	3	1	19	0	2
Ольховский	163,2	16	1	16	16	3	1	16	0	2
Алексеевский	295	15	2	15	15	4	2	15	0	3
Палласовский	283	19	1	19	19	3	1	19	0	2
Руднянский	306	20	2	19	20	4	2	19	1	3
Светлоярский	53,7	8	0	8	8	2	0	8	0	1
Серафимовичский	249	16	1	15	16	3	1	15	0	2
Среднеахтубинский	29,8	18	1	18	18	3	1	18	0	2
Жирновский	308	15	2	13	15	4	2	13	0	3
Суrowsикинский	136,0	24	1	24	24	3	1	24	2	2
Фроловский	144	26	2	26	26	4	2	26	0	2
Чернышковский	190,0	18	1	18	18	3	1	18	0	2
ИТОГО:	6519,8	726	47	713	726	109	47	713	15	73

Постановления 1/29 с одной стороны предлагает, а с другой обязывает работодателя установить порядок, форму, периодичность и продолжительность обучения по охране труда и проверки знаний охраны труда у работников рабочих профессий в соответствии с нормативными правовыми актами, регуливающими безопасность конкретных видов работ. Поэтому работодатель вправе установить самостоятельно порядок обучения и проверки знаний с учетом применения дистанционных технологий там, где это возможно.

Министерство образования РФ является органом исполнительной власти, наделенным полномочиями регулировать правоотношения в области образования. Образовательная программа по охране труда направлена на обеспечение безопасности труда работников в процессе трудовой деятельности. Таким образом, в неурегулированных вопросах мы можем пользоваться подходами этого ведомства.

В развитии государственной политики Российской Федерации Министерство образования и науки РФ издало Приказ от 23.08.2017 N 816 «Об утверждении Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ». Пункт 8 этого приказа разрешает образовательной организации проводить экзамены и зачет в дистанционной форме. Таким образом, этот подход не противоречит Федеральному закону от 29.12.2012 N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».

В соответствии со статьи 165.1 Гражданского кодекса РФ сканы документов имеют свою юридическую значимость с момента доставки. Данная позиция схожа с той, которая содержится в Постановлении Пленума Верховного Суда РФ от 23.06.2015 № 25 «О применении судами некоторых положений раздела I части первой Гражданского кодекса Российской Федерации». Таким образом, хоть Постановление 1/29 прямо не регулирует данный вопрос, но если данный порядок будет прописан в локальном нормативно – правовом акте организации, то дистанционный способ будет юридически законен.

В результате обучения и проверки знаний происходит следующий обмен информацией:

- визуальное восприятие информации,
- голосовое восприятие информации,
- передача текстовой информации.

С развитием сети Интернет в последнее время получили развитие различные программные обеспечения, которые могут обеспечить видеоконференцсвязь в режиме реального времени, например, *Skype*, *Zoom* и другие. С помощью этих видео приложений можно осуществлять вербальное и невербальное общение, не нужно тратить время и денежные средства на командировку для обучения и проверки знаний норм охраны труда в удаленных подразделениях.

В таблице 2 приведены необходимые и достаточные способы передачи информации в процессе обучения и проверки знаний охраны труда.

Таблица 2 – Способы передачи информации при очном и дистанционном обучении

Способы передачи информации	Обучение и проверка знаний при очном присутствии работника и членов комиссии	Дистанционное обучение и проверка знаний с использованием программного обеспечения, обеспечивающее текстовую, голосовую и видеосвязь через Интернет между компьютерами (IP-телефония)
Визуальное восприятие работника и членов комиссии	да	да
Голосовое общение	да	да
Передача текстовых сообщений	да	да

Таким образом, способы передачи информации при обучении и проверке знаний требований охраны труда при очной и дистанционной форме с использованием видеоконференцсвязи одни и те же. Однако затратная часть, связанная с транспортными расходами и трудовыми затратами на транспортировку работников, отсутствует при дистанционной форме с использованием соответствующего программного обеспечения.

На рисунке 1 приведен алгоритм процедуры проверки знаний охраны труда с использованием дистанционных технологий, который пошагово позволит руководителям подразделений реализовать проверку знаний в дистанционном режиме.

Таким образом, дистанционное обучение и проверка знаний правил охраны труда с использованием видеоконференцсвязи дает следующие преимущества по сравнению с очной формой:

- экономятся время, транспортные и трудовые затраты на сбор участников;
- экзаменуемый, находясь в привычных условиях (у себя в подразделении), чувствует себя психологически увереннее;
- реализуется безболезненная возможность мобильного переноса процедуры проверки знаний в форс-мажорных случаях (внезапного ухудшения состояния здоровья одного из участников, неподготовленности экзаменуемого и т.д.).

В связи с распространением в мире в 2019 – 2020 годах коронавирусной инфекции многие работники трудятся в условиях удаленного доступа, чтобы остановить ее распространение. Дистанционный способ проверки знаний в условиях распространения инфекции особенно актуален, поскольку исключает физический контакт между людьми и пригоден для удаленной работы. К определенным проблемам дистанционной формы обучения и проверки знаний правил охраны труда можно отнести то обстоятельство, что сбор подписей, передача протоколов и удостоверений требует определенного времени, технического оснащения для сканирования и отправки электронных документов. Но эти трудности в условиях всеобщей компьютеризации страны преодолимы и носят вре-

менный характер. Вместе с тем, следует отметить целесообразность прямого урегулирования трудовым законодательством дистанционной формы обучения и проверки знаний правил охраны труда.



Рисунок 1 – Алгоритм процедуры проверки знаний требований охраны труда с использованием дистанционных технологий

Для внедрения системы дистанционной проверки знаний норм охраны труда в каждой конкретной организации необходимо систему интегрировать индивидуально. При этом необходимо обеспечить следующие условия:

1. Доступ всех участков подразделений к соответствующему видео приложению.
2. Наличие в подразделении принтера для печати протокола и сбора подписей.
3. Возможность сканирования протокола.
4. Наличие электронных подписей в подразделении.
5. Закрепить в локальном документе предприятия в Положении о порядке обучения по охране труда правомочность проведение проверки знаний требований охраны труда с использованием дистанционных технологий, прописать способы подписания протоколов проверки знаний и документооборот [15-20]. При этом учесть опыт использования современных информационных технологий в педагогическом процессе [21].

## Выводы:

1. В связи с широким внедрением Интернет технологий во все сферы производственной деятельности обоснован переход проверки знаний норм охраны труда в дистанционный режим на примере организации ПАО «РТК» Волгоградской области, которая по структуре обслуживаемых объектов имеет удаленные рабочие места.

2. Для организаций, где характерной чертой является наличие удаленных рабочих мест, переход проверки знаний охраны труда у работников в дистанционный режим экономически выгоден. В таких организациях также можно при необходимости обеспечить дистанционный способ проведения вводного инструктажа, однако, нужно понимать, что такой вид обучения имеет и свои недостатки, роль личности преподавателя в процессе обучения всегда высока. Кроме того, не все виды обучения возможно проводить дистанционно.

3. В условиях распространения инфекции данный способ проверки знаний позволяет исключить физический контакт между людьми.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Куценко С.М., Косулин В.В. Электронные образовательные ресурсы как инструмент обучения и повышения качества образования // Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество. Материалы VII межвузовской конференции, посвященной 70-летию Ю.Г. Назмеева (г. Казань, 21-22 апреля 2016г.) В 3-х томах. Том 2- Казань: Издательство «Бриг». 2016. Т. 2. С. 194-198.
2. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Современные альтернативные подходы обучения в сравнении с традиционными // Научно-аналитический журнал. Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. № 4(37) – 2017. с.46-50.
3. Куклев В.А. Электронное обучение на основе СДО Moodle: проблемы, поиски и решения/В.А. Куклев, Т.А. Егорова // Электронное обучение в непрерывном образовании 2015. Т. 1, № 1 (2). С. 552-558.
4. Акользина Е. А. Использование электронных образовательных ресурсов в процессе обучения: достоинства, недостатки // Психолого-педагогический журнал «Гаудеамус». Издательство: Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина (Тамбов), 2013. № 2 (22). С. 95-97.
5. Каверзнева Т.Т., Леонова Н.А. Проблемы перевода учебного процесса в В ON-LINE формат в высшей школе // Безопасность жизнедеятельности. 2018. № 4 (208). С. 61-64.
6. Грузкова С.Ю., Камалева А.Р. Роль технических средств обучения в современном педагогическом процессе // Информатика и образование: границы коммуникаций. 2014. № 6 (14). С. 346-348.
7. Шорина Т.В., Кирилова Г.И., Липатова И.А. Развитие информационной среды высшей школы в условиях реализации сетевой формы // Вестник Казанского государственного энергетического университета. –2017.–№3(35).–С.146-152.
8. Naumkin N.I., Kondratieva G.A., Grosheva E.P., Kupyashkin V.F. Training Higher School Students in Rapid Prototyping Technology as a Final Stage of Their Preparation for Innovative Activities // Integratsiya obrazovaniya = Integration of Education. 2018; 22(3):519-534. DOI: 10.15507/1991-9468.092.022.201803.519-534.
9. Исупова Н. И., Суворова Т. Н. Использование электрон-

ных образовательных ресурсов для реализации активных и интерактивных форм и методов обучения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2014. Т. 26. С. 136-140. URL: <http://e-koncept.ru/2014/64328.htm>.

10. Гаюбова К.А. Использование современных педагогических интерактивных методов обучения и информационных технологий в совершенствовании учебного процесса // Молодой ученый. - 2015. - №23.

11. Панина Т.С., Вавилова Л.Н. Современные способы активизации обучения. - 4-е изд., стер. - М.- 2008. - 176 с.

12. Панфилова А.П. Инновационные педагогические технологии: Активное обучение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр «Академия». - 2009. - 192 с.

13. Солодухина О.А. Классификация инновационных процессов в образовании // Среднее профессиональное образование. - 2011. - № 10. - С.12 -13.

14. Активные и интерактивные образовательные технологии (формы проведения занятий) в высшей школе: учебное пособие / сост. Т.Г. Мухина. - Н. Новгород: ННГАСУ. - 2013. - 97 с.

15. Привалова Г. Ф. Активные и интерактивные методы обучения как фактор совершенствования учебно-познавательного процесса в вузе//Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 203.

16. Сенченко В.А. Документы, оформляемые по результатам проведения инструктажей по охране труда и пожарной безопасности. Приложение к журналу «Охрана труда и пожарная безопасность». – М: ООО «МедиаПро», 2017. – 52 с.

17. Карауш С. А., Герасимова О. О. Повышение эффективности обучения работников строительной отрасли охране труда за счет мотивации работодателей // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2015. Вып. 1(37). Ст. 6. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru>.

18. Сенченко В. А., Каверзнева Т. Т. Некоторые аспекты проведения стажировки на рабочем месте при обучении безопасным методам и приемам труда в строительстве // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2016. Вып. 1—2. Ст. 2. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>.

19. Сенченко В.А., Каверзнева Т.Т. Стажировка на рабочем месте как основной элемент обучения безопасным приемам труда рабочих профессий в строительстве // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7. – № 3. – С. 25–33.

20. Савельев Д.В., Иванов А.В., Каверзнева Т.Т. Организация и проведение объектовых занятий // В сборнике: Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций Материалы Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 188-192.

21. Южакова Н. А. Использование современных информационных технологий в педагогическом процессе в образовательных организациях высшего образования системы МЧС России // Безопасность жизнедеятельности. – 2016. – №1(181). – С. 60-64.

*Статья поступила в редакцию 02.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0005

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ТРЕНИНГОВ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ

© 2020

**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.** Предупреждение чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах является актуальной задачей в области обеспечения безопасности. На современном этапе существует необходимость в улучшении системы обучения техники безопасности при эвакуации в чрезвычайных ситуациях, которая будет иметь достаточную эффективность. В статье рассматривается использование трехмерного виртуального моделирования 3D для обучения противопожарной безопасности. Для оценки эффективности внимания обучаемых использовали данные электроэнцефалографического исследования, которое позволяет измерять колебания напряжения, возникающие в результате протекания ионного тока внутри нейронов головного мозга. Электроэнцефалографические сигналы участников виртуального моделирования 3D показали изменение мощности в различных частотных диапазонах по отношению к традиционному обучению. В эксперименте участвовало 40 студентов, обучающихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность» (20 человек проходили виртуальное обучение; 20 человек обучались традиционно при помощи использования видеоматериалов и слайдов). В ходе исследований установлено, что уровень внимания и сосредоточенности у участников виртуального 3D-тренинга, выше, чем у обычного. Данные исследования позволили создать практическую основу для организаций и исследователей в качестве эффективной подготовки по пожарной безопасности и эвакуации обучающихся. Таким образом, использование виртуального моделирования 3D обучения должно использоваться в учебных целях для приобретения практических навыков у студентов и работников промышленных предприятий.

**Ключевые слова:** 3 D моделирование, чрезвычайные ситуации, безопасность, пожар, виртуальное обучение

## PRACTICAL SUBSTANTIATION OF USE OF 3D EMERGENCY TRAININGS SECURITY SITUATIONS

© 2020

**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)*

**Annotation.** Prevention of emergency situations at hazardous production facilities is an urgent task in the field of safety. At the present stage, there is a need to improve the safety training system for evacuation in emergency situations, which will have sufficient efficiency. The article discusses the use of three-dimensional virtual 3D modeling for fire safety training. To assess the effectiveness of the students' attention, we used the data of an electroencephalographic study, which allows us to measure voltage fluctuations arising as a result of the flow of ion current inside brain neurons. Electroencephalographic signals of participants in virtual 3D modeling showed a change in power in different frequency ranges with respect to traditional learning. The experiment involved 40 students enrolled in the "Technosphere Security" training direction (20 people went through virtual training; 20 people studied traditionally using video materials and slides). In the course of research, it was found that the level of attention and concentration among participants in virtual 3D training is higher than in ordinary ones. These studies have created a practical basis for organizations and researchers as an effective training in fire safety and evacuation of students. Thus, the use of virtual modeling of 3D learning should be used for educational purposes to acquire practical skills from students and workers of industrial enterprises.

**Keywords:** 3 D modeling, emergency, safety, fire, virtual training

**Введение.** С развитием современных строительных технологий конструкционные материалы становятся все больше и сложнее [1-3]. Случаи ужасающих происшествий, которые происходят в таких сложных сооружениях, приводящих к потере имущества, а также человеческих жизней, регистрируются во всем мире. Подготовка к экстренной эвакуации может сыграть решающую роль в смягчении ущерба не только в случае пожара, взрыва или разлива химических ве-

ществ, но и в случае стихийных бедствий, таких как пожары, наводнения и ураганы [4-6].

С развитием технологий люди становятся все более опытными в компьютерных играх, виртуальной реальности и веб-приложениях [7-10]. Традиционное обучение по различным видам чрезвычайных происшествий проводится с помощью лекций, информационных бюллетеней или слайдов. Данные методы обучения имеют не достаточную визуализацию и

взаимодействие между обучающимися. К таким программам можно отнести *SBT*, *SMARTFIRE*, *FDS*, *FIRE-FOAM* и т.д. [11-13].

**Целью** данного исследования является обоснование практической значимости использования трехмерной виртуальной среды пожарной безопасности с помощью программы *SBT* в процессе обучения студентов.

**Материалы и результаты исследования.** Программа для 3D моделирования *SBT* имеет различные уровни (создание контента, разработку трехмерной виртуальной модели, пользовательский интерфейс, регистрацию данных, метод обратной связи и проверку) [14-18]. Тренинг на основе моделирования (*SBT*) позволяет разработать трехмерную (3D) среду, в которой можно моделировать объекты, такие как мебель, здания, офисы и даже города, из реальной жизни. 3D моделирование (*SBT*) направлено на разработку виртуального тренинга безопасности аварийной эвакуации для жителей, рабочих и служащих. При этом участники могут взаимодействовать с различными объектами и сценариями в виртуальном здании.

В эксперименте участвовало 40 студентов, обучаю-

щихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность» (20 человек проходили виртуальное обучение; 20 человек обучались традиционно при помощи использования видеоматериалов и слайдов). Для оценки эффективности внимания обучаемых использовали данные электроэнцефалографического исследования (ЭЭГ). ЭЭГ позволяет измерять колебания напряжения, возникающие в результате протекания ионного тока внутри нейронов головного мозга. Записанные ЭЭГ-сигналы участников были проанализированы для понимания изменений мощности в различных частотных диапазонах по отношению к тренировочному лечению (слайд-тренинг и 3D-виртуальный тренинг). Нейрокомпьютерный интерфейс *EMOTIV EPOC* был использован в качестве инструмента для записи электрических сигналов, генерируемых мозгом участников, проходящих обучение пожарной безопасности. ЭЭГ гарнитура помещалась на голову участнику, проходящего виртуальную подготовку по пожарной безопасности и экстренной эвакуации. Как только ЭЭГ-гарнитура включалась, она посылала сигналы на портативный компьютер с помощью беспроводного устройства (рис. 1).

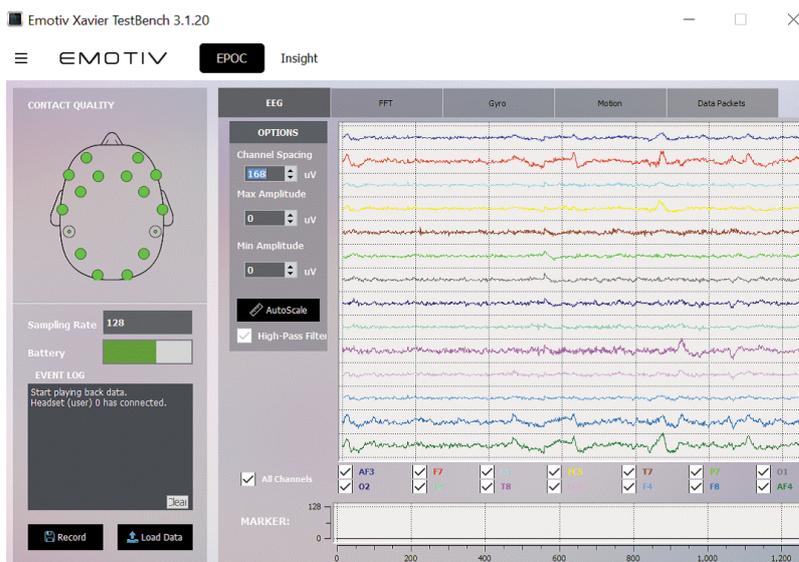


Рисунок 1 - Запись данных в программное обеспечение *EMOTIV EPOC*

Выбор инструмента моделирования, графического интерфейса и программного обеспечения для исследований - это факторы, которые играют важную роль в определении того, будет ли конечное разработанное моделирование соответствовать его требованиям. Правильный выбор программного обеспечения для моделирования очень важен, поскольку каждое моделирование может не нуждаться в расширенных или уникальных функциях, которые ответственны за увеличение затрат до пяти-шести цифр. Все зависит от масштабов и вида чрезвычайного происшествия.

Благодаря способности взаимодействовать обучаемые в программе *SBT* чувствовали себя так, как будто они присутствуют в реальной среде. В виртуальном мире им приходилось взаимодействовать с объектами, получая обратную связь и формируя свои про-

фессиональные решения.

Тренинг на основе моделирования позволил сформировать динамическое принятие решений обучаемых в таких ситуациях, как пожар. В виртуальном мире обучаемые взаимодействовали с объектами, получая обратную связь, в результате которой у студентов формировались определенные решения. Программное обеспечение позволило регистрировать поведение и реакцию обучаемых. Регулярно проводимые тренинги у студентов способствовали выработке алгоритма принятия решений с помощью визуализации.

Оценка, основанная на моделировании обучения безопасности эвакуации, проводилась с различными уровнями строгости. Это было необходимо для установления эффективного инструмента обучения. В исследовании основным критерием явилась способность

определения уровня вовлеченности обучаемого.

При обучении в программе виртуального моделирования студенты находились в здании со своими конструктивными особенностями, которые можно было модифицировать по-своему усмотрению. Для обеспечения безопасности в здании находятся огнетушители, пожарная сигнализация, тяговые станции и знаки выхода.



Рисунок 2 – 3D-модель здания в программе SBT

Проведенное сравнение мощности нейронных сигналов в различных частотных диапазонах у 20 участников тренинга на основе слайдов и 20 участников виртуального тренинга 3D при соотношении мощности бета-и Альфа-диапазонов частот было рассчитано для всех 14 каналов и статистически сопоставлено с использованием одностороннего *t*-критерия, чтобы увидеть устойчивое внимание обучаемых в виртуальном обучении в сравнении с традиционным. Результаты исследования позволили установить, что уровень внимания и сосредоточенности у студентов

виртуального 3D-тренинга, выше, чем у традиционного. Также участниками было отмечено, что в ходе виртуального тренинга им была представлена новая информация, о которой они не знали.

Эмпирическое обучение в виртуальных программах происходит на основе моделирования с получением обратной связи в результате каждого действия, выполненного в виртуальной среде с точки зрения оценки или того, какое действие необходимо предпринять дальше [19-20]. Поэтому, когда обучаемый выполняет какое-либо действие, он получает обратную связь и учится в ней. Это является важным аспектом, предлагаемым в SBT, который усиливает процессы эмпирического обучения, обеспечивает мотивацию, помогает обучаемому учиться на ошибках и уменьшает неопределенность в отношении результатов работы.

**Заключение.** Практическое использование 3D виртуального моделирования способствует разработке целостной системы обучения пожарной безопасности и аварийной эвакуации с различными уровнями, такими как создание контента, разработка, взаимодействие обучаемых, регистрация данных, метод обратной связи и валидации.

Таким образом, обучение технике безопасности имеет важное значение для подготовки рабочих, служащих и студентов к чрезвычайным ситуациям. Актуальность данной работы заключается в практическом обосновании использования виртуального обучения за счет повышенной концентрации внимания обучаемых. Практическое обоснование обучения в программах виртуального обучения является новым элементом в учебном процессе студентов для обучения аварийной эвакуации в 3D-виртуальном мире.

Разработка пакета программ 3D виртуального моделирования внесет свой вклад в моделирование, человеческий фактор и технику безопасности отдельных лиц в случае чрезвычайной ситуации, что может способствовать повышению безопасности человека, уменьшая вред.

В учебном процессе специалистов, обучающихся по соответствующим специальностям и направлениям подготовки преимуществом использования таких программ, является обучение нескольких игроков, которые решая конкретную задачу могут обмениваться опытом и проявлять индивидуально изученный подход к правильной эвакуации и защите во время чрезвычайных ситуаций.

В программах виртуального моделирования также может быть собрана команда, состоящая из персонала с различными организационными ролями. При этом сценарии развития чрезвычайного происшествия могут быть вокруг принятия и решения проблем в зависимости от динамики производительности команды. В ходе тренировочного обучения затраченное время на поиск пути выхода, не фиксируется.

Таким образом, использование 3D-виртуального обучения пожарной безопасности и аварийной эва-

куации позволяет визуализировать свое обычное окружение и чрезвычайную ситуацию, с которой они могут столкнуться в этой среде. Этот тренинг на основе виртуального мира позволяет взаимодействовать с различным оборудованием, связанным с пожарной безопасностью, и сценариями, такими как поиск ближайшего выхода в случае чрезвычайной ситуации.

Следовательно, существует реальная необходимость в внедрении системы обучения технике безопасности при помощи виртуального моделирования, которая могла бы связать воедино различные аспекты обучения экстренной эвакуации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дектерев А.А., Гаврилов А.А., Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Серегин С.Н. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях // Пожарная безопасность. – 2007. - №4. – С. 49-58.
2. Коляда А.В. Оптимизация процесса тушения лесного пожара с использованием имитационного моделирования // Ученые записки Российского государственного социального университета. - 2010. - № 8 (84). - С. 89-94.
3. Субачев С.В., А.А. Субачева. Имитационное моделирование развития и тушения пожаров в системе подготовки // Прикладная информатика. – 2008. - № 4(16). – С. 27-37.
4. Снегирёв А.Ю., Шиндер Ю.К., Болдырев Ю.Я. Компьютерное моделирование распространения дыма при действии локального очага пожара // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2008. - № 3 (60). – С. 197-203.
5. Agarwal, R., Karahanna, E. Time flies when you're having fun: Cognitive absorption and beliefs about information technology usage. MIS quarterly, 2000, 665-694.
6. Albert, A., Hallowell, M. R., Kleiner, B., Chen, A., Golparvar-Fard, M. Enhancing Construction Hazard Recognition with High-Fidelity Augmented Virtuality. Journal of Construction Engineering & Management, 2014, 140(7), -1. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000860
7. Arai, K., Handayani, A. N. E-Learning System Utilizing Learners' Characteristics Recognized Through Learning Processes with Open Simulator. International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, 2013, 4(4), 8-12.
8. Bailenson, J. N., Yee, N., Blascovich, J., Beall, A. C., Lundblad, N., Jin, M. The Use of Immersive Virtual Reality in the Learning Sciences: Digital Transformations of Teachers, Students, and Social Context. Journal of the Learning Sciences, 2008, 17(1), 102-141.
9. Baldwin, T. T., Ford, J. K. Transfer of Training: A Review and Directions for Future Research. Personnel Psychology, 1998, 41(1), 63-105.
10. Beltrán Sierra, L. M., Gutiérrez, R. S., Garzón-Castro, C. L. Second Life as a support element for learning electronic related subjects: A real case. Computers & Education, 2012, 58(1), 291-302.
11. Bhide, S., Rabelo, L. Framework for emergency evacuation safety training using 3D virtual simulation. GE-International Journal of Engineering Research, 2015, 3(7), 36-52.
12. Bhide, S., Riad, R., Pastrana, J., Rabelo, L., Katsarsky, A., Ford, C. Development of Virtual Reality Environment for Safety Training. Paper presented at the Industrial and Systems Engineering Research Conference, Nashville, Tennessee, 2015.
13. Billings, D. R. Efficacy of Adaptive Feedback Strategies in Simulation-Based Training. Military Psychology (Taylor & Francis Ltd), 2012, 24(2), 114-133. doi: 10.1080/08995605.2012.672905
14. Dutton, G. 3-D IN ACTION. Training, 2013, 50(5), 40-42.
15. Fok, S., Schwartz, R., Wronkiewicz, M., Holmes, C., Zhang, J., Somers, T., & Bundy, D. IpsiHand: An EEG-based Brain Computer Interface for Rehabilitation and Restoration of Hand Control Following Stroke and Traumatic Brain Injury Using Ipsilateral Cortical Physiology, 2011.
16. Friend, M. A., & Kohn, J. P. (2014). Fundamentals of Occupational Safety and Health. Lanham: Berman Press, 2014.
17. Fu, F.-L., Su, R.-C., Yu, S.-C. EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. Computers & Education, 2009, 52(1), 101-112.
18. Garrett, M., McMahon, M. Indirect Measures of Learning Transfer between Real and Virtual Environments. Australasian Journal of Educational Technology, 2013, 29(6), 806-822.
19. Hale, K. S., Stanney, K. M. Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications: CRC Press, 2014.
20. Herr, N., Tippens, M., Rivas, M., Vandergon, V. O., d'Alessio, M., Reveles, J. Cloud-Based Continuous Formative Assessment (CFA) Handbook of Research on Cloud-Based STEM Education for Improved Learning Outcomes, 2016 (pp. 16, 218): IGI Global.

*Статья поступила в редакцию 26.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0006

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

© 2020

**Крецу Ромина Маратовна**, магистр

факультета экологии и техносферной безопасности,

**Федорец Александр Григорьевич**, научный руководитель, к.т.н.,

доцент кафедры «Экология и техносферная безопасность»,

*Российский государственный социальный университет*

*(129226 г. Москва, ул. В.Пика, д. 4, корпус 8, emails: r.m.kretsu@yandex.ru, alfed007@mail.ru)*

**Аннотация.** Оценка результативности систем менеджмента безопасности труда (далее - СМ БТ) не является законодательным требованием, а является скорее факультативной функцией производственного менеджмента компании. Вместе с тем, в рамках международных стандартов говорится о том, что система менеджмента должна быть результативно внедрена. Поэтому необходимо понимать какие имеются подходы к реализации этого требования и как это применяется на практике. В рамках статьи впервые проведен анализ основных подходов к оценке результативности СМ БТ и сравнительный анализ показателей результативности СМ БТ применяемых компаниями горно-металлургической отрасли по данным публичной нефинансовой отчетности и выделены наиболее применимые показатели СМ БТ для оценки ее результативности.

**Ключевые слова:** система менеджмента безопасности труда, показатель результативности, охрана труда, система управления охраной труда, результативность.

## ANALYSIS OF HEALTH & SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS PERFORMANCE INDICATORS OF METALL & MAINING COMPANIES

© 2020

**Kretsu Romina Maratovna**, student of masters course, Faculty of Ecology and Technosphere safety,

**Fedorets Aleksandr Grigorievich**, candidate of Technical Sciences,

Associate Professor of Ecology and Technosphere safety academic department,

*Russian State Social University*

*(Wilhelm Pieck street, 4, build.1, Moscow, Russian Federation, 129226,*

*emails: r.m.kretsu@yandex.ru, alfed007@mail.ru)*

**Abstract.** Assessment of the health & safety management systems (HS MS) performance indicator of is not a mandatory requirement, but rather an optional function of the company's production management. However, within the framework of international standards [1] it is stated that the management system should be effectively implemented. This is necessary for practical use. The article includes an analysis of the main approaches to assessing the effectiveness of HS MS and a comparative analysis of the performance indicators of HS MS used by the mining and metallurgical industry according to public non-financial reporting and the most applicable indicators of HS MS for evaluating its effectiveness was carried out for the first time.

**Keywords:** health & safety management systems, occupational safety management system, performance indicator, labor protection, work safety management system, effectiveness.

**Введение.** Достижение целей функционирования СМ БТ, как правило, требует адекватных показателей и/или индикаторов, отражающих деятельность в этой области, где степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов определяется термином «результативность». А показатели результативности деятельности формируются в основном по данным текущего контроля и/или по результатам периодических аудитов системы, позволяющих определить соответствие деятельности в области обеспечения безопасности труда совокупности соответствующих критериев. Требования международных стандартов в части постоянного анализа результативности и предупреждающего мониторинга не предусматривает обязательное использование какой-либо конкретной методики, поэтому предприятия вправе определять способы, методы, показатели и критерии самостоятельно [1].

Это чревато тем, что показатели результативности, в отсутствие актуального подхода или выборе неадекватного показателя не будут отражать уровень функционирования системы, а то и вовсе будут искажать действительное положение дел. Поэтому необходимо проанализировать имеющиеся подходы и практически применяемые показатели результативности в области функционирования СМ БТ.

Несмотря на то, что имеются некоторые различия в содержании понятий «охраны труда» и «безопасности труда», также, как и в отношении понятии «системы управление охраной труда» и «системы менеджмент безопасности труда», а в какой-то мере они даже являются конфликтующими, в рамках статьи будут рассмотрены как подходы к оценке результативности системы управления охраной труда, так и систем менеджмента безопасности труда [2,3].

В рамках анализа основных подходов к оценке

результативности СМ БТ можно выделить следующие:

- подход, с позиции соответствия деятельности в области охраны труда совокупности критериев, заданных руководством организации на основании требований национального законодательства;
- подходы, изложенные с позиции оценки результативности систем менеджмента качества;
- подход с позиции разделения показателей результативности на «запаздывающие» и «опережающие»;
- подход с позиции оценки результативности совокупности предпринятых мер защиты.

Подход реализованный в рамках ГОСТ 12.0.230.3-2016 [4] содержит руководящие указания по планированию и применению процедур оценки результативности и эффективности деятельности организации в области охраны труда, где результаты деятельности в области охраны труда отражают показатели результативности – зафиксированные показатели (индикаторы, индексы, коэффициенты и т.д.) состояния условий труда, соблюдения требований охраны труда, применения методов управления рисками и другие достижения организации в области охраны труда и могут быть представлены как показателями результативности, так и эффективности. Эффективность в контексте ГОСТ 12.0.230.3-2016 определяется как связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Показатели результативности в соответствии с ГОСТ могут быть заданы в отношении системы в целом, в отношении управления, характеризующий действия руководства организации, в отношении функционирования, характеризующий состояние условий и охраны труда в организации и обобщающий результативность функционирования комплекса различных процедур. Показатели могут быть выражены качественно и/или количественно. Так же приводится показатель, характеризующий события негативного характера (количество инцидентов, несчастных случаев, случаев ухудшения здоровья и др.) как результаты системы управления - показатель недостаточной результативности. Положения стандарта не содержат конкретного, единообразного механизма и/или метода применения для организаций в области оценки результативности СМ БТ.

Вопросы оценки результативности систем менеджмента затрагиваются также в рамках систем менеджмента качества (далее СМК) [5], например, в обзоре методик по оценке результативности СМК в работе [6] выделены девять основных подходов к оценке результативности СМК:

- на основе оценки степени достижения поставленных целей и задач;
- на основе результативности процессов;
- на основе анализа и оценки работ в определенных областях;
- на основе соответствия требованиям стандарта СМК;
- на основе анализа работы структурных подразделений;

- на основе оценки функционирования выделенных объектов;
- на основе бальных (экспертных) оценок по заданным параметрам;
- на основе индексного нормирования оценки результативности;
- на основе результатов внутренних аудитов.

По мнению авторов, базовым подходом к оценке результативности системы менеджмента является методика анализа, построенная на основе системы сбалансированных показателей [7].

В работе [8] отмечается, что на современном этапе в отечественной теории и практике управления в области безопасности труда наблюдается существенная трансформация системы оценки результативности и механизмы достижения практических результатов. Это объясняется переходом от концепции обеспечения «абсолютной безопасности» к риск-ориентированному подходу, где акцент смещается от приоритета нормативно-директивной методологии управления и доминирования количественных, прежде всего статистических показателей (*K<sub>ч</sub>*, *K<sub>т</sub>*, *K<sub>н</sub>*, *K<sub>л</sub>* – коэффициенты частоты, тяжести, нетрудоспособности, летальности производственного травматизма [9] на методологию оценки и управления рисками безопасности труда. Авторы отмечают свойство традиционного подхода к оценке результативности, базирующийся на фиксации потерь и негативных событий как основной результат деятельности – количества несчастных случаев, отклонений, нарушений, несоответствий в ходе проверок, аудитов. Эти показатели в работе называются «пассивными», а методологию оценки результативности на основе таких показателей «реактивной». Отличием такого подхода в оценке результативности СМ БТ является то, что первостепенными становятся значения «активных». В числе «активных» показателей авторы выделяют, в частности, выполнение нормативных требований по охране труда и промышленной безопасности; соответствие условий труда санитарно-гигиеническим нормам; итоги аттестации руководителей и специалистов; состояние нормативно-технической и разрешительной документации; своевременность и качество обучения персонала; активность работы администрации в области надзора за выполнением правил по охране труда; организацию аудита и мониторинга; динамику в оценке классов условий труда; организацию рационализаторской работы; эффективность работы по рассмотрению жалоб; кадровое обеспечение системы управления охраны труда; финансирование мероприятия по охране труда; организацию и техническое обеспечение аудита и ряд других [8].

В работе [10] излагается схожее мнение автора об общем предположении о том, что деятельность, направленная на повышение уровня «опережающих» (в работе [8] они определяются как «активные») показателей СМ БТ положительно влияют на уровень запаздывающих показателей, то есть такая

деятельность направлена на профилактику травматизма и нарушений. Примером таких исследований приводится исследование, изложенное в статье [11], где формирование модели безопасного поведения, характеризующаяся «опережающими» показателями

положительно повлияла на ряд «запаздывающих» показателей (в работе [8] они определяются как «пассивные»). Общая модель сочетания оценки результативности СМ БТ по «опережающим» и «запаздывающим» показателям приведена на рисунке 1.

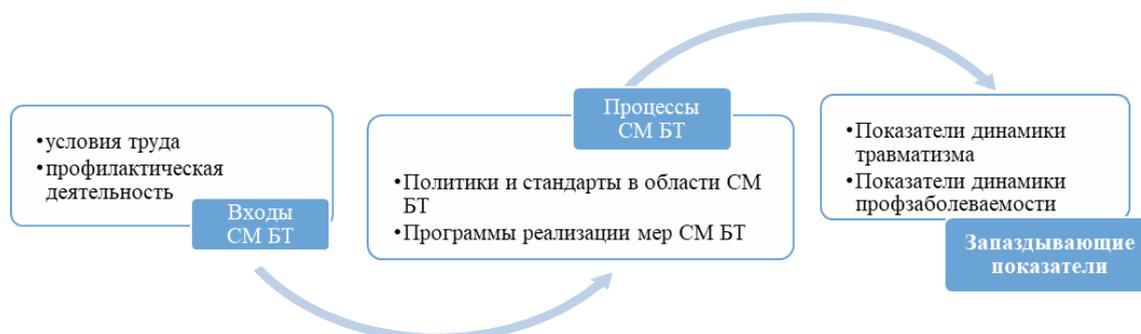


Рисунок 1 – Общая модель сочетания оценки результативности СМ БТ по опережающим и запаздывающим показателям

С позиции оценки результативности мер защиты в работе [12] хотя и не содержится никаких рекомендаций в отношении оценки результативности системы менеджмента безопасности труда в целом, однако вводит понятие показателя результативности меры защиты как степени уменьшения вероятности наступления травмы, соответствующей опасному фактору, или заболевания, соответствующего вредному фактору. Все защитные меры условно разделены на пять категории, где первой категории защитных мер соответствуют меры, которые исключают опасности (объекты, действия, ситуации) и являются наиболее результативными, а пятой категории соответствуют меры защиты реагирования на опасности, например, применение средств индивидуальной защиты и оказание первой помощи пострадавшим, результативность таких мер наименьшая. При таком подходе общий показатель результативности системы может быть выражен как совокупность показателей результативности всех предпринятых мер защиты в рамках системы.

Анализ вышеизложенного позволяет сделать следующие выводы о разработанных в области оценки результативности СМ БТ подходах:

- понятие «результативности» неразрывно связано с понятием «цель», поэтому к разработке целей и выбору показателей результативности СМ БТ целесообразно применять один и тот же подход, например, на основе SMART-технологий [13]: первоначально формулируется SMART-цель, затем выбирается или разрабатывается соответствующий SMART-показатель, имеющий ту же единицу измерения для простоты оценки;
- следует различать результаты функционирования системы и ее элементов (т.е. ее процессов и процедур) и результаты непосредственной деятельности в области безопасности труда предприятий. Показатели результативности СМ БТ в рамках анализируемых подходов называются «показателями результативности управления», «опережающими», «активными», которые

характеризуют насколько достигнуты цели системы менеджмента, а показатели результативности деятельности в области безопасности труда, которые в рамках анализируемых подходов называются «показатели результативности деятельности», «пассивные», «запаздывающие», характеризуют насколько достигнуты цели деятельности;

- повышение результативности СМ БТ (ее элементов) способствует повышению результативности деятельности в области безопасности труда и, в то же время, низкая результативность деятельности в области безопасности труда может свидетельствовать о низкой результативности системы, поэтому для повышения результативности деятельности в области безопасности труда важное значение имеют процессы и процедуры, связанные с расследованием несчастных случаев и качественный анализ коренных причин происшествий, как приоритетных элементов системы для достижения цели предотвращения реализовавшейся ситуации и/или уменьшение вероятности ее повторения, однако только в сочетании с мониторингом опасностей и рисков.

**Цель статьи** провести обзор основных показателей результативности СМ БТ компаний горно-металлургической отрасли (таб.1) по данным публичной нефинансовой отчетности выбранных для анализа компаний [14]. На основе этого анализа выделить наиболее применимые показатели результативности СМ БТ.

**Материалы и результаты исследования.** Для сбора информации о деятельности СМ БТ компании в рамках публичной нефинансовой отчетности была разработана форма для заполнения, где отражаются:

- основные характеристики компании (название, страна/отрасль, краткая характеристика географии активов и основные производственные процессы);
- показатели, характеризующие деятельность и элементы СМ БТ.

Основные характеристики и показатели изложены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компаний для оценки функционирования СМБТ и соответствующие показатели результативности

№	Название компании	Краткая характеристика	Показатели результативности СМБТ в соответствии с публичной нефинансовой отчетностью
1	<i>Freeport-McMoRan Copper and Gold</i>  Ведущая международная горнодобывающая компания со штаб-квартирой в Фениксе, штат Аризона	Портфель активов Компании включает в себя минеральный район Грасберг в Индонезии, одно из крупнейших в мире месторождений меди и золота; и крупные горнодобывающие предприятия в Северной и Южной Америке, включая крупномасштабный район добычи полезных ископаемых Моренчи в Северной Америке и операцию Серро-Верде в Южной Америке.	Показатели результативности предназначаются для общей оценки деятельности СМБТ компании. Основные показатели: • число несчастных случаев со смертельным исходом (0 за 2018 год); • общая частота регистрируемых происшествий (TRIR, 0,71 за 2018 год); • число случаев профессиональных заболеваний (42 за 2018 год) • количество выявленных «критических рисков» в рамках менеджмента рисков [15].
2	<i>Southern Copper Corporation</i>  Один из крупнейших производителей меди в мире	Компания занимается производством меди, молибдена, цинка, свинца, угля и серебра. Все предприятия по добыче, выплавке и переработке расположены в Перу и Мексике. Компания проводит геологоразведочные работы в этих странах и Чили. С 1996 года акции котируются на Нью-Йоркской и Лимской фондовых биржах.	Показатели, используемые в компании, предназначаются для общей оценки деятельности компании в области СМБТ. Основные показатели: • частота несчастных случаев с потерей трудоспособности (IR, 0,72 за 2018 год); • показатель степени тяжести травматизма при несчастных случаях (SR, 0,28 за 2018 год); • коэффициент профессиональной заболеваемости (0,16 за 2018 год) • объем инвестиций в область обеспечения безопасности (108,4 млн \$ за 2018 год) [16].
3	<i>Уральская горно-металлургическая компания (УГМК)</i>  Второе место в России по производству меди	Штаб-квартира – г. Верхняя Пышма (Свердловская область). Основа компании – замкнутая технологическая цепочка по меди: от добычи сырья до производства готовой продукции на основе меди и ее сплавов. Кроме того, прочные позиции на рынке цинка, свинца и драгоценных металлов.	Основные показатели: коэффициент частоты травматизма, затраты на в области СМБТ, общее количество несчастных случаев. Значения показателей компанией не раскрываются, только декларируется стабильное снижение уровня производственного травматизма с 2015 года («...значение показателя значительно более низкое, чем в среднем по Российской Федерации или в отрасли») [17].
4	<i>Glencore</i>  Крупнейшая в мире диверсифицированная компания по добыче природных ресурсов	Компания является производителем и поставщиком широкого спектра металлов и минералов, таких как медь, кобальт, цинк, никель и ферросплавы, а также поставка алюминия / глинозема и железной руды от третьих лиц Производственные шахты в Австралии, Африке и Южной Америке, в так же имеются активы нефтяного бизнеса является одним из ведущих поставщиков сырой нефти, нефтепродуктов и природного газа.	Стратегией компании подразумевается снижение показателей LTIFR и TRIFR на 50% к концу 2020 года по сравнению с базовым 2015 годом. Компания регулярно публикует и анализирует показатели. Основные показатели: • частота несчастных случаев с потерей трудоспособности (LTIFR, 1,06 за 2018 год); • общее количество регистрируемых несчастных случаев (TRIFR, 3,18 за 2018 год); • количество несчастных случаев со смертельным исходом (13 за 2018 год); • количество случаев профессиональных заболеваний (32 за 2018 год) • количество зарегистрированных потенциально опасных ситуаций СМБТ (434 high-potential risk incidents reported (368 в 2017)) [18].
5	<i>ПАО «ПОЛЮС»</i>  Крупнейший производитель золота в России и одна из 10 ведущих глобальных золотодобывающих компаний	Основные предприятия компании расположены в Красноярском крае, Иркутской и Магаданской областях, а также в Республике Саха (Якутия) и включают 5 действующих рудников, золотоносные россыпи и ряд проектов в стадии строительства и развития.	Стратегией компании сокращение показателя частоты травматизма с потерей трудоспособности (LTIFR) на 20% к 2020 г. по сравнению с 2016 г. Основные показатели: • частота несчастных случаев с потерей трудоспособности (LTIFR, 0,08 за 2019 год); • общий коэффициент дорожно-транспортных происшествий (AARK); • средний уровень культуры безопасности по шкале Брэдли за 2014–2017 гг. вырос до 2 и целевой уровень 2020 года равен 2,5 • уровень обучения в области безопасности труда • нулевой уровень смертности (зарегистрирован 1 смертельный случай в 2018г) [19].

По результатам анализа нефинансовых публичных отчетов выявлены основные показатели, которыми характеризуется СМБТ компаний горно-металлургической отрасли. К показателям, характеризующих результативность деятельности в области безопасности труда можно отнести:

- число несчастных случаев со смертельным исходом (*FIFR*);
- частота несчастных случаев с потерей трудоспособности (*LTIFR*);

- общая частота регистрируемых происшествий (*TRIR*, учитываются несчастные случаи травматизма и со смертельным исходом);
- частота несчастных случаев с потерей трудоспособности (*IR*);
- показатель степени тяжести травматизма при несчастных случаях (*SR*);
- общий коэффициент дорожно-транспортных происшествий (*AARK*);
- коэффициент частоты травматизма (*Kч*).

К показателям, характеризующим результативность процессов/процедур СМ БТ можно отнести следующие:

- количество выявленных «критических рисков» в рамках менеджмента рисков [20];
- количество зарегистрированных потенциально опасных ситуаций (*high-potential risk incidents reported*).
- уровень культуры безопасности по шкале Брэдли;
- уровень обучения в области безопасности труда.

**Заключение.** По результатам обзора можно сделать вывод, что большая часть компаний оценивает результативность СМ БТ опираясь на результативность деятельности в области безопасности труда (запаздывающие показатели), чаще используются относительные показатели, такие как частота несчастных случаев с потерей трудоспособности (*LTIFR*), частота несчастных случаев со смертельным исходом (*FIFR*), общая частота регистрируемых происшествий (*TRIFR*), но и абсолютные количественные показатели в отчетах так же фигурируют.

Показатели результативности системных процессов и процедур (опережающие показатели) в рамках отчетов раскрываются значительно реже и их количественно меньше. По анализируемым компаниям такие показатели характеризуют некоторые аспекты функционирования менеджмента рисков (оценка и управление критическими рисками, регистрацией опасных ситуаций), обучение персонала в области безопасности и уровень культуры безопасности. По мнению автора, это связано не столько с нежеланием компаний раскрывать показатели результативности СМ БТ, сколько с отсутствием методик к их подбору, оценке, мониторингу, а также с особенностями подходов формирования публичной нефинансовой отчетности, в связи с тем, что Совет по международным стандартам устойчивого развития (*GSSB*), работающий под эгидой организации «Глобальная инициатива по отчетности» (*GRI*), опубликовал новые Стандарты отчетности в области устойчивого развития, где по большей части раскрытию подлежат показатели деятельности в области безопасности труда (запаздывающие показатели).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кловач Е.В., Ткаченко В.А. Международный стандарт ISO 45001:2018 как инструмент управления безопасностью производства / в сборнике: Проблемы управления безопасностью сложных систем Материалы XXVII международной конференции. Под общей редакцией Калашникова А.О., Кульбы В.В. 2019. С. 433-437.
2. Федорев А.Г., "Охрана труда" и "безопасность труда": партнеры или оппоненты? //Журнал «Безопасность и охрана труда.» 2018. № 2 (75). С. 2-8.
3. Федорев А.Г. Типовое положение о СУОТ: кто, чем и каким образом управляет// Журнал «Охрана труда и социальное страхование», №4, 2017, с. 86-98; №5, 2017 с.76-85.
4. Файнбург Г.З., Научные основы создания и обеспечения эффективного функционирования систем управления охраной труда и практика их применения. // Охрана и эконо-

мика труда. 2018. № 3 (32). С. 12-19.

5. Филатов Е.И. Новые версии ISO 9000 И ISO 9001: основные изменения. // Методы менеджмента качества. 2016. № 5. С. 36 - 42.

6. Григорян Е.С., Яшин Н.С., Методические подходы к оценке результативности системы управления качеством. // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2018. № 1 (70). С. 24-27.

7. Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. 2-е изд., испр. и доп. / пер. с англ. М. Павловой. М.: Олимп-Бизнес, 2008.

8. Севастьянов Б.В., Костин Д.М., Трансформация критериев оценки эффективности систем управления охраной труда: традиционный и современный подходы. // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2017. Т. 20. № 4. С. 91-94.

9. Мониторинг производственного травматизма в Российской Федерации [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL:<http://www.kiout.ru/info/publish/448>

10. Zofia Pawłowska (2015) Using lagging and leading indicators for the evaluation of occupational safety and health performance in industry. International Journal of Occupational, Safety and Ergonomics, 21:3, 284-290, DOI: 10.1080/10803548.2015.1081769

11. Peciłło M., Results of implementing programmes for modifying unsafe behaviour in Polish companies. Int J Occup Saf Ergon. 2012;18(4):473-485. DOI:10.1080/10803548.2012.11076954.

12. Федорев А.Г. Применение современной методологии риск-менеджмента в системах менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. // Безопасность и охрана труда. 2018. № 1 (74). С. 1-10.

13. Таран В.Н., Апришко Д.В. Постановка целей при помощи SMART технологий. В сборнике: Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы // сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 4 частях. 2017. С. 133-135.

14. Нархова М.А., Раскрытие нефинансовой информации в отчетности российских организаций: тенденции и ключевые показатели. / В сборнике: Проблемы и перспективы социально-экономического развития общества: история и современность материалы международной научно-практической конференции. 2016. С. 184-188.

15. Working Toward Sustainable Development (WTSD), annual report, 2018 [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: <https://www.fcx.com/sustainability>

16. Southern Copper Corporation annual report, 2018 [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL:<http://www.southerncoppercorp.com/ENG/invrel/2018/AnnualReport/2018report.pdf>

17. УГМК, Безопасность производства [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: [https://www.ugmk.com/activity/production\\_safety/](https://www.ugmk.com/activity/production_safety/)

18. Glencore annual report, 2018 [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: <https://www.glencore.com/dam/jcr/f81f9883-b0c1-422a-a0dd-cfe999faa21c/2018-Glencore-Sustainability-Highlights--pdf>

19. ПАО «ПОЛУС» годовой отчет, 2018 [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: [http://polyus.com/upload/iblock/338/polyus\\_ar19\\_rus.pdf](http://polyus.com/upload/iblock/338/polyus_ar19_rus.pdf)

20. ICMM Critical control management approach [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: <https://www.icmm.com/en-gb/health-and-safety/safety/critical-control-management>

Статья поступила в редакцию 10.05.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020

УДК 331.451

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0007

**ЭРГОНОМИКА РАБОЧЕГО МЕСТА ПО СИСТЕМЕ «5 С» ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА**

© 2020

**Степанов Андрей Николаевич**, аспирант,  
кафедры «Управление безопасностью в техносфере»  
**Нарусова Елена Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление безопасностью в техносфере»  
**Стручалин Владимир Гайозович**, кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление безопасностью в техносфере»  
**Фомина Надежда Борисовна**, кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

*Российский университет транспорта*

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mails: an.nik.stepanov@gmail.com,  
e.narusova@ubt-rut-miit.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, n.fomina@ubt-rut-miit.ru)

**Аннотация.** Рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечивать эффективность рабочего процесса, удобство в повседневной работе и оперативность в экстренной ситуации. На железной дороге, в связи с особенностями ее устройства, возникновение любой ситуации, связанной с нарушением безопасности движения поездов, представляет собой экстремальную ситуацию, требующую в кратчайшие сроки проведения неотложных путевых работ по ее устранению. Руководитель среднего звена, на чьем участке произошло происшествие, объективно находится в состоянии стресса, при этом он должен легко ориентироваться в рабочем пространстве, не терять время и не отвлекаться на лишние действия и операции. В связи с этим в условиях «цифровизации железной дороги» предлагается введение Паспорта рабочего пространства путевой бригады железнодорожного транспорта для унификации всех рабочих мест в соответствии с принципами эргономики и правилами системы бережливого производства 5 С.

**Ключевые слова:** безопасность труда, экстремальная ситуация, эргономика рабочего места, бережливое производство, человеческий фактор.

**WORKPLACE ERGONOMICS BY SYSTEM "5 S" TO ENSURE LABOR SAFETY IN EXTREME SITUATIONS OF TRACK COMPLEX**

© 2020

**Andrei Nikolaevich Stepanov**, postgraduate student of the Department  
"Management of safety in a technosphere"  
**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"  
**Nadegda Borisovna Fomina**, candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department  
"Management of safety in a technosphere"

*Russian University of Transport*

(127994, Russia, Moscow, Obraztsov St. 9, building 9, e-mails: an.nik.stepanov@gmail.com,  
e.narusova@ubt-rut-miit.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, n.fomina@ubt-rut-miit.ru)

**Abstract.** The workplace should be organized in such a way as to ensure the efficiency of the workflow, convenience in day-to-day work and speed in an emergency situation. On the railway, due to the peculiarities of its arrangement, the occurrence of any situation related to the violation of train safety is an extreme situation requiring urgent travel works to eliminate it as soon as possible. The head of the middle level, on whose site the incident occurred, is objectively in a state of stress, and he should easily navigate the workspace, not waste time and not be distracted by unnecessary actions and operations. In this regard, in the context of the "digitalization of the railway," it is proposed to introduce the Passport of the working space of the railway traffic team to unify all workplaces in accordance with the principles of ergonomics and the rules of the lean production system of 5 С.

**Keywords:** labor safety, extreme situation, ergonomics of the workplace, lean production, human factor.

**Введение.** В условиях конкуренции современного рынка транспортных перевозок руководством компании ОАО «Российские железные дороги» было принято решение о переходе на «цифровую железную дорогу». Одной из целей цифровизации железной дороги является создание нового поколения мобильных

рабочих мест [1]. Унификация эргономически разработанных рабочих мест каждого должностного лица может стать одним из путей достижения этой цели. Эргономический подход к разработке рабочих мест позволит учесть перемещение и энергетические затраты работника при выполнении технологического

процесса [2].

Согласно исследованиям Международной организации труда, от полученных на производстве травм и полученных за время работы профессиональных заболеваний ежегодно по всему миру умирает свыше 2,3 млн. человек [3]. Как показывает статистика, основными причинами производственного травматизма являются неграмотная организация и нарушение правил производства работ, отказ от индивидуальных средств защиты.

Сохранение жизни и здоровья работников возможно только при условии выполнения установленных порядка организации рабочего места и правил производства работ [4].

Некачественно организованные условия труда путей рабочих влияет не только на уровень травматизма и профзаболеваемости на производстве, но и является причиной снижения производительности труда [5].

Рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечивать эффективность рабочего процесса, удобство в повседневной работе и оперативность в экстренной ситуации. Работник, выполняя поставленную задачу, особенно в условиях экстренной ситуации, должен легко ориентироваться в рабочем пространстве, не терять времени и не отвлекаться на лишние действия и операции.

**Целью исследования** является повышение безопасности труда работников путевого комплекса железных дорог.

**Материалы и методы исследования.** Возникновение экстремальной ситуации на линейном участке железнодорожного транспорта связано с нарушением графика движения поездов, и работа по восстановлению движения поездов должна быть выполнена в кратчайшие сроки. В условиях жесткого ограничения времени на решения и действия уровень организации рабочих мест руководителя и бригады неизбежно влияет и на скорость, и на результат работы, поэтому организация рабочего места должна соответствовать определенным требованиям.

Экстремальная ситуация в путевом комплексе железных дорог обусловлена внезапно изменившимся состоянием железнодорожного пути, связанным с нарушением безопасности движения поездов или угрожающими факторами для жизни работников.

Экстремальные ситуации, такие, как сход подвижного состава с рельсов, сплыв земляной насыпи пути, столкновение поезда с автотранспортом на переезде, разрыв рельсовой плети, обнаружение острodefектных рельсов, являющиеся порой неизбежными реалиями путевого хозяйства, всегда сопровождаются рядом особенностей:

- внезапность наступления;
- ограниченность времени устранения;
- внеплановая организация работы по ликвидации последствий;
- резкий переход от привычного темпа работы к ускоренному;

- увеличение объема информации, количества поступающих сообщений, телефонных звонков;
- необходимость одновременного непосредственного руководства работой бригады и поддержания информационного контакта с другими службами;
- необходимость быстрого принятия правильных решений;
- осознание ответственности за происходящее.

Безусловно, все эти обстоятельства вызывают стресс у руководителя среднего звена, на чьем участке произошло происшествие.

На железной дороге, в отличие от других видов транспорта, возникновение экстремальной ситуации, связанной с нарушением безопасности движения поездов, влечет за собой сбой графика их движения. Отставание пассажирских поездов более 6 минут, а грузовых более 15 минут от времени следования по графику классифицируется как технологическое нарушение [6] и влечёт за собой дисциплинарное взыскание [7], невыплачивание премии работникам, допустившим нарушение [8]. Поэтому, кроме осознанной ответственности за надлежащую работу железной дороги, работники ещё и вследствие этого положения всегда стараются как можно быстрее восстановить работоспособность железнодорожного пути и обеспечить безопасный пропуск поездов.

Анализ причин несчастных случаев показывает, что, торопясь устранить техническое нарушение на пути, под воздействием стресса, работники забывают про правила безопасности труда относительно средств индивидуальной защиты, ограждения места производства работ и исправности необходимого инструмента. Все это связано со смертельной опасностью производства работ в условиях движения поездов по соседнему пути.

Сложность устранения дефекта, связанного с нарушением безопасности движения поездов, и повлекшего за собой закрытие движения на участке пути, для работников обусловлена, кроме всего прочего, многокилометровой протяженностью линейных участков. Учитывая продолжительное время следования бригады до места работы, необходимо время на предварительную организацию ее работы и на подготовку инструмента сводить к минимуму.

Интенсивный стресс влечет за собой быструю смену реакции тревоги фазой сопротивления, а затем фазой истощения организма [9].

Психологическая нагрузка на руководителя бригады, постоянные телефонные звонки по согласованию принимаемых по устранению нарушения мер, зачастую приводят к забыванию необходимого инструмента, взятию непроверенного сломанного инструмента и отсутствию необходимых средств и сигналов ограждения работающей бригады, что в совокупности составляет нарушение комплекса правил по охране труда.

Тревога и страх лежат в основе многих психических нарушений: невротических, депрессивных, психосоматических расстройств. Переживание ин-

тенсивного страха при попадании в экстремальную ситуацию является важнейшей причиной возникновения посттравматического стрессового расстройства [10].

В такой ситуации работники сталкиваются с множеством объективных факторов, влияющих на возникновение стресса:

- вредные факторы производственной среды (шум, пыль, дождь, повышенные или пониженные температуры, ночное время суток);
- тяжёлые условия труда (интенсивная или длительная работа, ненормированный график работы, повышенная ответственность, информационные перегрузки, неудобное оборудование);
- форс-мажорные обстоятельства (нарушение графика движения поездов).

Данные факторы сначала способствуют развитию физиологического стресса (есть реальный внешний раздражитель и реальная угроза для здоровья и жизни), а затем могут стать причиной и психологического стресса (восприятие этого раздражителя, значимость раздражителя, субъективная оценка возможности нейтрализации проблемы, то есть зависит от когнитивных аспектов) [11]. Профессиональные причины стресса могут быть обусловлены нехваткой знаний, умений и навыков (стресс новичков), а также ощущением несоответствия между трудом и вознаграждением за него.

Человеческий фактор в состоянии стресса может проявляться в следующих особенностях:

- нарушения психомоторики (дрожание рук, дрожание голоса, изменение ритма дыхания, нарушения речевых функций, замедление реакции);
- нарушения режима дня (сокращение времени сна при работе в ночное время, необходимость отказа от полезных привычек);
- профессиональные нарушения (увеличение количества ошибок на работе, низкая продуктивность рабочей деятельности, ухудшение точности при выполнении требуемых усилий);
- нарушения социально-ролевых функций (повышение конфликтности, проявления антисоциального поведения, постоянные опоздания, спешка, повышенная утомляемость, проблемы в общении) [12].

Существуют следующие способы побороть стресс в экстремальной ситуации:

- фармакологические, включая ароматерапию,
- проектно-конструкторские, в частности, проектирование рабочего места с использованием воздействия цвета и музыки,
- физиологические,
- психологические, такие, как самовнушение, аутотренинг, медитация, нейролингвистическое программирование.

Наряду с этими способами трудно переоценить значение организационных методов.

Вопросам внедрения системы бережливого производства на предприятиях посвящены работы Дуплякиной О.К. и Мирошниченко М.А., М. Вэйдера,

Д.П. Вумека и Д.Т. Джонса, И. Масааки [13,14,15,16].

Метод организации и рационализации рабочих мест по системе «5С» способствует повышению травмобезопасности и снижению уровня брака в работе, а за счет этого повышению производительности, сокращению потерь в технологическом процессе подразделения: простое, нерациональных перемещений, излишних запасов [17].

Концепция бережливого производства 5С подразумевает, что все сотрудники предприятия - от монтера пути до начальника дистанции - соблюдают несколько простых правил. При этом не требуется применения новых управленческих программ и технологий.

В современной интерпретации 5С включает следующие составляющие организации рабочего пространства: сортировка – предусматривает деление всех вещей на нужные и ненужные, ненужные при этом удаляются; соблюдение порядка – требует нахождения каждого предмета на своем месте; содержание в чистоте – на рабочем месте должна отсутствовать пыль и грязь; стандартизация - предполагает наличие общих правил поведения на рабочем месте; совершенствование – подразумевает постоянное стремление работников к улучшению своего рабочего пространства.

Правильно организованное рабочее место руководителя бригады путейцев позволяет ему в экстренной ситуации быстро сориентироваться и безотлагательно приступить непосредственно к организации работы бригады, не теряя времени на свою подготовку.

Организовать эффективную работу в состоянии стресса - одна из самых сложных задач, которая вообще может встать перед руководителем. В критической ситуации, когда в кратчайшие сроки нужно решить большое количество организационных задач, очень остро ощущается нехватка времени. Необходимо одновременно решить множество задач по организации и согласованию ремонтно - путевых работ [18]. В режиме жесткого ограничения времени, чтобы выбрать наиболее эффективное решение, руководителю бригады нужно быстро просмотреть множество различных вариантов действия, и отбросить те из них, которые не оптимальны или слишком сложны для исполнения.

Следует отметить, что при работе, связанной с необходимостью принятия решений в состоянии стресса, одним из наиболее эффективных способов подготовки к быстрому и четкому действию является предварительное планирование. Есть несколько способов, позволяющих мысленно создать базу таких предварительных планов, включая как тренировки, так и анализ личного опыта, прямого или опосредованного, получаемого через наблюдение за другими людьми, решающими аналогичную задачу. Один из способов, который можно использовать постоянно без отрыва от ежедневной деятельности, - мысленная симуляция.

Мысленная симуляция - создание сценария, в

котором нужно достичь определённой цели путём принятия различных решений, с их детальной проработкой. Для этого используются знания и личный опыт, которые позволяют прогнозировать результаты каждого действия: приведёт ли это к поставленной цели или нет.

Например, руководитель бригады хочет быть готов к операции по замене острорельсового рельса на главном пути, на которую отводится 3 часа [19]. В такой ситуации в кратчайшие сроки нужно решить, где взять новый рельс, как его доставить до места замены, каким инструментом работать, чем и как огородить место производства работ, предусмотреть способ связи с дежурным по станции или поездным диспетчером.

Таким образом, определяются круг вопросов и ряд действий, правильное решение которых с наибольшей вероятностью приведёт к поставленной цели, а невозможность выполнения хотя бы одного из них непременно приведет к срыву работы. В связи с этим очевидно, что расположение аварийного запаса рельсов, исправного инструмента, измерительных приборов, сигналов ограждения места производства работ должно осуществляться по системе организации и рационализации рабочего места 5 С, являющейся одним из инструментов бережливого производства.

Факторами, определяющими уровень условий труда работников путевого комплекса, являются технология работ, качество и наличие инструмента, система защиты работников, обслуживание рабочих мест и внешние условия, зависящие от состояния и организации места производства работ. Все эти обстоятельства создают определенный микроклимат в коллективе работников [5]. Эти требования справедливы для любого рабочего места, и для кабинета руководителя бригады монтеров пути, и для санитарно-бытового корпуса, и для кладового помещения; каждая рабочая зона должна быть четко структурирована и отвечать требованиям удобства рабочего места [20].

**Результаты исследования.** Учитывая принципы эргономики рабочего пространства и системы бережливого производства 5С, опыт работы в путевом комплексе железных дорог, предлагается ввести правила содержания рабочего места в помещениях бригады путейцев.

Правила содержания рабочего места в помещениях бригады путейцев:

1) радиостанции, телефоны, фонари должны иметь подписанное место хранения с постоянно подключенными к электрической сети зарядными устройствами, это исключит возможность разряженного состояния в экстремальной ситуации;

2) сигнальные принадлежности – флажки, рука-ва, рожки в полном наборе - должны храниться в шкафах, установленных приказом по дистанции сигнальщиков и руководителей работ;

3) аптечка оказания первой помощи должна храниться на видном месте в комнате проведения инст-

руктажа, вместе с такими средствами индивидуальной защиты, как очки и наушники, поскольку каждому работнику необходимо при выходе на путь не забыть взять их с собой;

4) ключи от всех производственных помещений должны иметь бирку и храниться на подписанных крючках специального стенда, что позволит в экстремальной ситуации не терять время на их поиски;

5) на рабочем месте дорожного мастера в зоне прямой видимости должны находиться схемы железнодорожных станций и перегонов в границах его линейного участка, что позволит оперативно ориентироваться на местности;

6) на рабочем стенде дорожного мастера должны быть вывешены адреса всех объектов в границах линейного участка (мостов, остановочных платформ, автомобильных подъездов и т.д.);

7) на мониторе компьютера должны быть закреплены логины и пароли от него и всех рабочих программ;

8) рядом с телефоном должен быть список телефонных номеров руководителей, инженерных работников дистанции, руководителей других путейских бригад, руководителей соседних дистанций, смежных служб, экстренных служб;

9) измерительный инструмент должен храниться в полном комплекте на отдельном стенде, каждый на своем подписанном месте;

10) в рабочем помещении необходимо оборудовать стенд со слесарным инструментом для бытовой починки мебели и мелкого инструмента;

11) аварийно – восстановительный запас должен храниться рядом с инструментом строгого учета в кладовой;

12) путевой инструмент должен быть исправен и храниться каждый на своем подписанном месте;

13) рабочий инвентарь (лопаты, ломы, приспособления для очистки желобов, вилы, грабли) также должны быть исправны и иметь свое подписанное место;

14) элементы рельсовых скреплений верхнего строения пути должны быть рассортированы по виду и находиться на видном подписанном месте.

С данными правилами, обусловленными спецификой и опытом работы на железнодорожном пути, необходимо знакомить всех дорожных мастеров и начальников эксплуатационных участков.

**Заключение.** На основе принципов эргономики рабочего места, правил системы бережливого производства 5 С, нормативных документов охраны труда с учётом опыта организации работы бригады монтеров пути в случае экстремальной ситуации разработаны и предлагаются к применению Правила содержания рабочего места в помещениях бригады путейцев, которые позволяют:

- максимально использовать время на фактическое производство работ без спешки и нарушений правил охраны труда за счет оперативного выполнения организационных задач на стадии возникновения

экстренной ситуации;

- снижать уровень личного стресса за счет уверенности в подготовке и оснащении своего линейного участка;
- повышать производительность труда за счет минимизации лишних действий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р

2. Стасева Е.В., Теплякова Н.А., Турянская Е.И. Травматизм как следствие пренебрежения эргономикой рабочих мест // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение: Материалы Международной научно-практической конференции (Ростов-на-Дону 2016) Донской государственный технический университет, 2016.-С. 196-203

3. Шаламова, Н. В., Качество трудовой жизни с точки зрения безопасности труда // Вопросы экономики и права. - 2012. - № 5. - С. 152 - 156.

4. Стасева Е.В., Трофимов И.А. Оценка профессиональных рисков. // Сборник науч. трудов II междунауч. - практич. конф. "Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии" // Тверской государственный технический университет. - 2016, С. 87-89.

5. Захарова М.А., Лаптева А.М. Основные теоретико-методологические подходы к исследованию процесса совершенствования условий труда и рабочего места // Фундаментальные и прикладные направления модернизации современного общества: экономические, социальные, философские, политические, правовые, общенаучные аспекты: Материалы международной научно-практической конференции: в 4-х частях. Ответственные редакторы: Н.Н. Понарина, С.С. Чернов. (Новосибирск, Тихорецк, Саратов 2015) Костромской государственный университет им. Н. А. Некрасова, 2015.- С.59-62

6. Стандарт ОАО РЖД классификация инцидентов, вызывающих нарушения графика движения поездов, утвержденный распоряжением ОАО РЖД № 1223р от 19 мая 2014 г.

7. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019) [Электронный ресурс] / Правовая система Консультант Плюс. – Режим доступа: www.consultant.ru, свободный.

8. Методика планирования и учета выполнения работ в дистанции пути, утвержденная распоряжением ОАО РЖД №1830 от 07.09.2016 г.

9. Психология экстремальных ситуаций: учеб. пособие / сост. И. А. Семенова. – Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2012.-138с.

10. Тарабрина Н.В. Психофизиологические корреляты посттравматического стресса / Н.В. Тарабрина, М.С. Курчакова // Соц. и клинич. психиатрия. – 2007. – Т. 17, вып. 4. – С. 9–17.

11. Низола Д.А. Стресс, причины, влияние и способы преодоления стресса на работе. В кн.: Профессионализация личности: теоретические и прикладные проблемы психологии, профессионального образования и экономики, Екатеринбург, 24-25 мая 2015 г., С. 106-110

12. Щербатых Ю.В. Психология стресса и методы коррекции / Ю.В. Щербатых. – СПб.: Питер, 2006. – 256 с.

13. Дулякина О.К., Мирошниченко М.А. Бережливое производство как метод повышения эффективности производства // Проблемы становления общества и экономики, основанных на знании: неоиндустриализация и методы исследования, Краснодар, 2016. С. 56-61.

14. Вэйдер М. Инструменты бережливого производства / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 125 с.

15. Вумек Джемс П., Джонс Дэниел Т. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / пер. с англ. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 473 с.

16. Масааки И. Кайдзен: ключ к успеху японских компаний / пер. с англ. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 274 с.

17. Стандарт по качеству ОАО «РЖД» Организация и поддержание порядка на рабочих местах по системе 5С, утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» № 69р от 19.01.2015

18. Качанов С. А., Нехорошев С. Н., Попов А. П. Информатизационные технологии поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях: Автоматизированная информационно-управляющая система Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: вчера, сегодня, завтра: [монография] / С. А. Качанов, С. Н. Нехорошев, А. П. Попов; М-во Рос. Федерации по делам граждан, обороны, чрезвычай. ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), Всерос. науч.-исследоват. ин-т по проблемам граждан. обороны, чрезвычай. ситуациям. Москва: Деловой экспресс, 2011. — 400 с.: ил

19. Инструкция ОАО «РЖД» Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и острodefектных рельсов, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» № 2499р от 23.10.2014

20. Миленский В.С., Крултый П.Е., Крултый С.П. Проектирование рационального рабочего места работника с учетом эргономики человека // Вестник белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт, №2, 2014., С.49-52.

*Статья поступила в редакцию 01.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0008

## ПОДГОТОВКА ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА К ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧИХ ФУНКЦИЙ

© 2020

**Алекин Дмитрий Юрьевич**, аспирант

**Сорокин Александр Владимирович**, аспирант

**Яговкин Герман Николаевич**, доктор технических наук,  
профессор кафедры "Безопасность жизнедеятельности"

*Самарский государственный технический университет  
(443100, Самара ул. Молодогвардейская, 244, e-mail: bjd@list.ru)*

**Аннотация.** Для оптимизации рабочих функций разработана система формирования у персонала знаний, умений и навыков с использованием автоматизированной системы подготовки для которой разработана алгоритмическая модель. Содержание подготовки включает три направления формирования знаний, умений и навыков по организации безопасной деятельности на электроэнергетических объектах; правилам и нормам, обеспечивающих безопасный труд на электроэнергетических объектах; методам, обеспечивающих безопасную и безошибочную производственную деятельность. Первое направление включает знание правовых, социально-экономических, организационно-технических и других вопросов, обеспечивающих безопасную деятельность операционного персонала. Содержание второго направления включает в себя формирование умений по возникновению требований электробезопасности, предъявляемые к оборудованию, персоналу и организации выполнения работ. Третье направление предполагает воспитание у оперативного персонала навыков, исключающих возникновение ошибочных действий как в штатных ситуациях, так и в аварийных.

**Ключевые слова:** оперативный персонал, деятельность, обучение, модель, система, качество обучения, рабочие функции.

## TRAINING PERFORMANCE STAFF FOR OPTIMIZATION OF WORKING FUNCTIONS

© 2020

**Alekin Dmitry Yuryevich**, postgraduate student

**Sorokin Alexander Vladimirovich**, postgraduate student

**Yagovkin German Nikolaevich**, doctor of Technical Sciences, Professor Life Safety

*Samara State Technical University*

*(443100, Samara, 244 Molodogvardeiskaya St., e-mail: bjd@list.ru)*

**Abstract.** To optimize labor functions, a system has been developed for the formation of personnel knowledge, skills and abilities using an automated training system for which an algorithmic model has been developed. The content of the training includes three directions for the formation of knowledge and skills for organizing safe activities at electric power facilities; rules and regulations that ensure safe operation at electric power facilities; methods ensuring safe and error-free production activities. The first area includes knowledge of legal, socio-economic, organizational, technical and other issues that ensure the safe operation of operational personnel. The content of the second direction includes the formation of skills for the emergence of electrical safety requirements for equipment, personnel and the organization of work. The third area involves the training of operational personnel skills that exclude the occurrence of erroneous actions both in regular situations and in emergency.

**Keywords:** operational personnel, activity, training, model, system, quality of training, work functions.

**Введение.** Высокая значимость человеческого фактора при возникновении причин аварий и технологических нарушений при управлении электроэнерго-объектом зачастую обусловлена несоответствием между техникой и психофизиологическими возможностями оперативного персонала [1,2]. Поэтому профессиональная пригодность человека выполняемой работе обеспечивается соответствием его психофизиологических качеств профессиональным требованиям [3-5]. Профессионально значимые качества формируются в процессе трудовой деятельности, в этом случае процесс называется воспитанием профессионального значимых качеств.

Роль оперативного персонала в управлении электроэнергетическим объектом весьма разнообразна. В общем случае для выполнения ее для любого вида дея-

тельности персонала должен быть включен в контур управления, что предполагает наличие следующей замкнутой цепи: «объект управления – технические средства управления – оперативный персонал – объект управления» [6-9].

Основными видами деятельности оперативного персонала в процессе управления энергообъектами является [10-13]:

- информационный поиск и восприятие информации;
- принятия управленческих решений;
- наблюдение за ходом технологического процесса;
- контроль работоспособности оборудования;
- устранение технологических нарушений;
- ряд других.

Модель оперативной деятельности представляет собой взаимосвязь таких процессов, как поиск информации, ее восприятие, принятие и практическая реализация решений (слежения за изменением параметров управления, контроля оборудования, перемещения исполнительных органов и т.д.). Качество этих процессов характеризуется физиологическими показателями (возраст, скорость реакции и т.д.) и когнитивными (уровень квалификации, знаний и т.п.) [14]. Их взаимосвязь определяет результативность оперативной деятельности.

**Цель** подготовки – сформировать у оперативного персонала практические навыки по выполнению различных операций, знаний, касаемых организационных вопросов обеспечения безопасности и электробезопасности и умений необходимых для обеспечения безопасности при осуществлении различных видов деятельности [15,16].

#### Материалы и результаты исследования.

В общем случае для этих целей используются системы обучения в автоматизированном режиме с функционально-взаимосвязанным набором подсистем учебно-методического, информационного математического и инженерно-технического обеспечения. Системы обучения в автоматизированном режиме применяют технические средства обучения (ТСО). Существует несколько классификаций ТСО: по отношению к деятельности обучаемого и обучающего; функционально-методическим признакам; степени приспособляемости к индивидуальным особенностям обучающихся; назначению, характеру обратной связи, принципу устройства и др.; педагогическим признакам, определяющим место и роль ТСО в учебном процессе.

Как было отмечено В.Н. Артюшкиным в работе «Методы профессионального обучения рабочих для трубопроводного транспорта углеводородов» (стр. 272-274, №1(11), Ашировские чтения), учитывая функции в педагогическом процессе, все технические средства обучения делятся на информационные, контролирующие, информационно-контролирующие анализирующие. К информационным средствам обучения относятся: звуковые (аудиосредства) магнитофон, пластинка, радио; зрительные (видеосредства) - схемы, плакаты, чертежи, слайды, диафильмы, макеты, модели, натурные образцы инструментов и оборудования и др.; средства аудиовизуальные — кинофильмы (с соответствующей киноаппаратурой и оборудованием), телевидение, видеозаписи, другие визуальные средства со звуковым сопровождением. К контролирующим относят средства: текущего контроля (самоконтроля), с помощью которых при необходимости обучающийся может получить ответ о правильности усвоения того или иного понятия, навыка; рубежного контроля (репетиторы), которые помогают обучающему проверить ход усвоения обучаемым некоторого объема знаний или отдельных навыков; итогового контроля (экзаменаторы) для выявления знаний по отдельному разделу или курсу

в целом; контроля навыков и умений (тренажеры). К информационно-контролирующим, относятся средства программированного обучения, которые в зависимости от психолого-педагогических принципов, заложенных при создании программ, разделяются на средства: с линейной, разветвленной, и ветвящейся адаптивной программами. К анализирующим относятся средства сбора результатов о ходе учебного процесса и автоматической обработки данных о ходе учебного процесса.

Процесс профессиональной подготовки персонала регулируется требованиями образовательных стандартов, работодателей и технологиями обучения, рекомендуемыми педагогической наукой, которые обеспечивают решение стоящих перед оперативным персоналом задач по обеспечению безопасности и безошибочности профессиональной деятельности.

Структура системы подготовки оперативного персонала изображена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура системы подготовки оперативного персонала

Система подготовки, формируемая на основе структуры, строится в следующей последовательности:

- разработка модели системы и изучения динамики;
- выделение элементов определения связей между ними;
- формирование принципов управления системой;
- определение состава лиц, участвующих в управлении.
- выработка цели и алгоритма управления.

Модель формирования системы подготовки оперативного персонала на основании структуры приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Модель формирования системы подготовки оперативного персонала

Конечный продукт – концептуальная модель предполагает наличие элементов управления и установление связей. Ее схема приведена на рисунке 3.

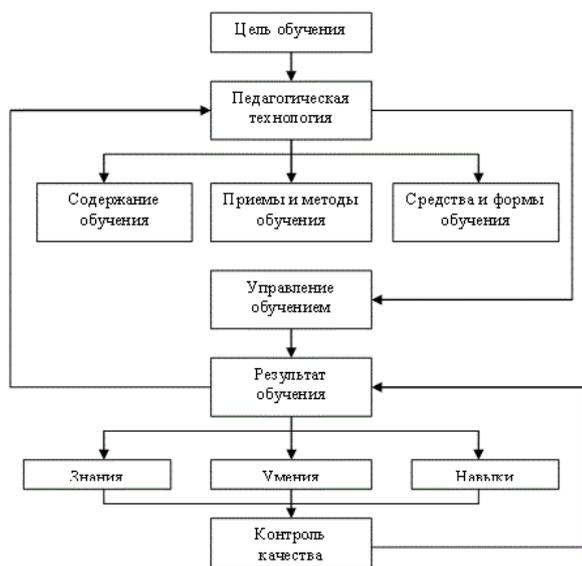


Рисунок 3 – Концептуальная модель системы подготовки оперативного персонала

Алгоритм подготовки с использованием автоматизированной системы обучения приведен на рисунке 4.

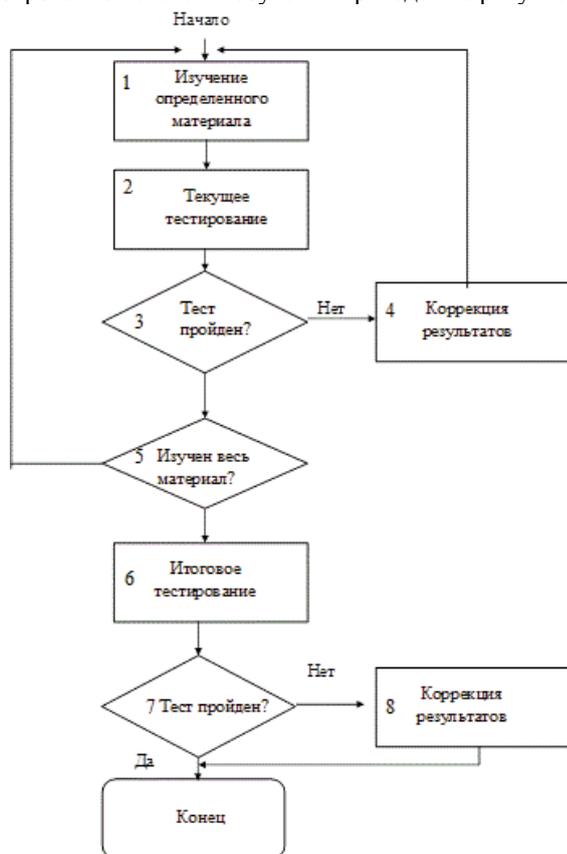


Рисунок 4 – Алгоритм подготовки оперативного персонала с использованием автоматизированной системы обучения

В исследованиях Чернышевой Е.А. (стр. 69-72, №6(32), Альманах мировой науки, «Структура

и алгоритм работы автоматизированной системы правилам и нормам охраны труда») отмечено, что в блоке «Изучение определенного материала» происходит изучение порции материала, в блоке 2 производится текущий контроль, т.е. проверка уровня полученных знаний. Переход к следующей теме осуществляется, если в результате (блок 3) получены положительные оценки (как правило, 4 или 5 баллов). В случае неудовлетворительных оценок в блоке 4 происходит коррекция результатов (обучаемые сравнивают свои ответы с правильными и еще раз изучают материал по этим вопросам). При изучении информации, содержащейся в системе (блок 5) проводится итоговое тестирование (блок 6). Если тестирование успешно пройдено (блок 7), то процесс обучения закончен, в противном случае – происходит дополнительная коррекция результатов (блок 8).

Ранее в работе самарских исследователей Алекиной Е.В., Мельниковой Д.А., Сорокиной Л.В., Гащенко Ю.В. (стр. 26-30, №3(219), Безопасность жизнедеятельности, «Оптимизация обучения работников знаниям, умениям и навыкам по обеспечению безопасной деятельности») отмечалось, что содержание подготовки включает три направления формирования знаний, умений и навыков по:

- организации безопасной деятельности на электроэнергетических объектах;
- правилам и нормам, обеспечивающих безопасный труд на электроэнергетических объектах;
- методам, обеспечивающих безопасную и безошибочную производственную деятельность.

Первое направление включает знание правовых, социально-экономические, организационно-технических и других вопросов, обсеающих безопасную деятельность операционного персонала.

Содержание второго направления включает в себя формирование умений по возникновению требований электробезопасности, предъявляемые к оборудованию, персоналу и организации выполнения работ.

Третье направление предполагает воспитание у оперативного персонала навыков, исключающих возникновение ошибочных действий как в штатных ситуациях, так и в аварийных.

Методы, используемые при реализации этих направлений, служат для формирования у персонала прочной системы фундаментальных научно обоснованных знаний, умений и навыков.

Контроль качества обучения осуществляется следующим образом.

Вычисляется критерий  $K_T$  ожидаемого значения:

$$K_T = \frac{2K_2 + 3K_3 + 4K_4 + 5K_5}{n} \quad (1)$$

Где  $K_2, K_3, K_4, K_5$  – количество проверяемых, ответивших на итоговые тесты соответственно на 2, 3, 4 и 5;

Дополнительно использованы еще два критерия

- ожидаемого результата и дисперсии

$$K_T - \gamma D(K), \quad (2)$$

где

$$D(K) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (K_i - K_T)^2;$$

$K_i$  – оценка подготовки  $i$ -обучаемого

$n$  – количество обучающихся

$\gamma$  – заданная постоянная.

$$K_T = \gamma D'(K), \quad (3)$$

где

$$D'(K) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n m_i^2 \quad (4)$$

$$m_i = \begin{cases} (K_o - K_i)^2, & K_o < K \\ 0, & K_o \geq K \end{cases} \quad (5)$$

$m$  – математическое ожидание.

Использование (4) позволяет учитывать, как средние знания группы в целом, так и отклонения в знаниях отдельных персоналий в худшую сторону.

Система подготовки оперативного персонала включает в себя модель, оценку ее состояния и управление им. Несоответствия обучающей системы характеризуется таким состоянием, при котором не достигаются цели оптимизации рабочих функций персонала для реализации их в существующих производственно-технологических условиях, либо критерия управления такой системой сложны, малоэластичны, неэффективны. В этих случаях реализуется третий компонент системы подготовки – управление (корректировка) состояния самой обучающей системы.

Для оптимизации имеющейся на предприятии системы подготовки оперативного персонала необходимо провести ее анализ, определить области, не соответствующие общей реализации этой системы, провести синтез (внести изменения) системы подготовки и разработать новую концептуальную модель.

Концептуальная модель системы подготовки оперативного персонала позволяет не только формировать содержательную составляющую, но и управлять обучением через показатели результативности, определяемые на этапе контроля качества обучения. В случае низких показателей результативности пересматривается педагогическая технология и процесс запускается заново до тех пор, пока педагогическая технология не будет отвечать требованиям качества обучения.

Разработанный алгоритм подготовки оперативного персонала может быть основой автоматизированной системы обучения и большей частью системы подготовки оперативного персонала при оптимизации их рабочих функций в изменяющихся производственно-технологических условиях.

**Заключение.** Разработанная концептуальная модель обучающей системы и методика контроля качества обучения позволяет оптимизировать рабочие функции оперативного персонала на электроэнергетических объектах и повышать уровень безошибочной и безопасной деятельности.

### Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90266

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алекина, Е.В., Мельникова, Д.А., Яговкин, Г.Н. Теоретические основы формирования интегральной системы управления безопасностью производства: Монография / Е. В. Алекина, Д. А. Мельникова, Г. Н. Яговкин / Под общ. Ред. Г. Н. Яговкина – Самара: Самар. Го. Техн. ун-т, 2018.- 281 с.
2. Грунистая О.С. Наставничество как способ адаптации и обучения персонала. //Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. № 10. 2014. - С. 89-94.
3. Дегтярева С.А., Сорокина Л.В., Дегтярева И.А. Надежность работы оперативного персонала в системах электроснабжения // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах. 2011. С. 138-140.
4. Дегтярева, С.А. Надежность оперативного персонала при осуществлении оперативных переключений. [Текст]: дис. канд. тех. наук: Челябинск, 2012, - 196 с.
5. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Жуков В.В., Молодюк В. Менеджмент и маркетинг в электроэнергетике. М.: «Издательский дом МЭИ», 2007. С. 505.
6. Кекчеев К.Х. Физиология труда. Л. - М.: Государственное издательство, 1925-224 с.
7. Кибанов А.Я. Управление персоналом организации: Учебник. - М.: ИНФРА-М, 2012.
8. Кириллов А.В. Системы интенсивного обучения персонала. //Управленческие науки. № 2 (11). 2014. - С. 70-77.
9. Кириллов А.В., Виниченко М.В., Мельничук А.В., Макушкин С.А. Проблемные вопросы развития техно-логий управления персоналом в отечественной практике и пути их решения. – М.: «Русайнс», 2015. – 162 с.
10. Коптева К.В., Бакшеева О.А. Профессиональное обучение как основа развития персонала организации. //Основы экономики, управления и права. № 5 (11). 2013. - С. 77-81.
11. Косилов С.А. Психологические основы научной организации труда. М.: Медицина, 1974. - 240 с.
12. Косилов С.А., Леонова Л.А. Работоспособность человека и пути ее повышения. М.: Медицина, 1974. - 240 с.
13. Ломов Б.Ф. Деятельность человека-оператора в системах «Человек-техника» //Вестник АН СССР. 1975, № 1. С. 82-115.
14. Лыгин А.В. Современные методы обучения персонала организации. //Проблемы совершенствования организации производства и управления промышленными предприятиями: Межвузовский сборник научных трудов. № 2. 2015. - С. 147-150.
15. Маслова В.М. Различные подходы к обучению и развитию персонала компании. //Дельта науки. № 2. 2015. - С. 10-16.
16. Оганян К.М. Модель формирования и динамика развития интеллектуальных ресурсов организации. //Гуманитарий Юга России. № 3. 2014. - С.150-164.
17. Панюкова С.А., Задоева И.А., Яговкин Г.Н. Оценка эффективности систем управления опасных производственных объектов // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. 2010. С. 315-316.
18. Панюкова С.А., Яговкин Г.Н., Яговкин Н.Г. Управление надежностью при реализации стратегии технического обслуживания и ремонта в системах электроснабжения // Промышленная энергетика. 2010. №9, С 12-15.
19. Саноян Г.Г. Создание оптимальной работоспособности на производстве (психологический аспект). -М.: Экономика, 1979. 168 с.
20. Теория и практика управления персоналом: Учеб.-метод. пособ. / Авт.- сост. Г. В. Щёкин. - 2-е изд., стереотип. - К.: МАУП, 2003. - 280 с.

Статья поступила в редакцию 15.04.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020

УДК 614.87

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0009

**ПОРТАТИВНАЯ ЭКСПРЕСС-ЛАБОРАТОРИЯ ЭКСПРЕСС-ОБНАРУЖЕНИЯ  
АГРЕССИВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

© 2020

**Пашинин Валерий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Химия и инженерная экология»  
«Российский университет транспорта (МИИТ)»

(127994, г. Москва, Российская Федерация, ул. Образцова, д.9, строение 9, г., e-mail: info@rut-miit.ru)

**Косырев Павел Николаевич**, к.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и  
чрезвычайных ситуаций МЧС России

(121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7, e-mail: kosyrevp@mail.ru)

**Зубрев Николай Иванович**, кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Высшая математика и Естественные науки»  
Российский университет транспорта (МИИТ)

(125190, Россия, г. Москва, Часовая ул., 22/2, e-mail: nZubrev@mail.ru)

**Панфилова Марина Ивановна**, кандидат химических наук, доцент кафедры ФиСА  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: 012340@mail.ru)

**Коростелева Анна Владимировна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»  
Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: anna-korostelyova@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается применение портативной химической экспресс-лаборатории модульного типа для группового экспресс-обнаружения агрессивных химических веществ на поверхностях объектов и в воде. В качестве агрессивных химических веществ рассматриваются вещества щелочного и кислого характера, окислители, производные диметилгидразина и аммиак. Групповое экспресс-обнаружение агрессивных химических веществ осуществляется путём использования набора четырёх аэрозольных устройств, заполненных соответствующими индикаторными рецептурами на данные группы веществ. После разбрызгивания индикаторных рецептур на поверхности объектов или в пробы воды осуществляют наблюдение за появлением характерного индикационного эффекта от каждой рецептуры. О типе загрязнителя судят по комбинации получаемых индикационных эффектов. Четыре аэрозольных устройства на данные группы веществ размещены в кейсе специальной конструкции, обеспечивающем удобство переноски и их применения.

**Ключевые слова:** аэрозольное устройство, агрессивное химическое вещество, групповое экспресс-обнаружение, проба воды, поверхность объектов, химическая экспресс-лаборатория модульного типа.

**PORTABLE EXPRESS LABORATORY FOR EXPRESS DETECTION OF AGGRESSIVE  
CHEMICALS**

©2020

**Pashinin Valery Alekseevich**, doctor of technical Sciences, Professor,  
Professor of the Department of Chemistry and engineering ecology»  
Russian University of transport (MIIT),

(9 Obraztsova str., building 9, Moscow, Russian Federation, 127994, e-mail: info@rut-miit.ru)

**Kosyrev Pavel Nikolaevich**, candidate of technical Sciences, SNS., leading researcher of  
All-Russian research Institute for civil defense and emergency situations of the EMERCOM of Russia,  
(7 davydkovskaya str., Moscow, 121352, e-mail: kosyrevp@mail.ru)

**Zubrev Nikolay Ivanovich**, candidate of technical Sciences,  
Professor of the Department of Higher mathematics and natural Sciences »  
Russian University of transport (MIIT),

(22/2 chasovaya street, Moscow, 125190, Russia, e-mail: nzubrev@mail.ru)

**Panfilova Marina Ivanovna**, candidate of chemical Sciences, associate Professor of the Department of FISA  
Research Moscow state University of civil engineering national  
(26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia, e-mail: 012340@mail.ru)

**Korosteleva Anna Vladimirovna**, candidate of Technical Sciences  
Associate Professor of the Department of Biotechnology and Technosphere Security  
Penza state University of technology

(440039, Russia, Penza, baidukova passage/Gagarin street, 1A / 11, e-mail: anna-korostelyova@yandex.ru)

**Abstract.** In the article examines the use of a portable modular type chemical express laboratory for group express

detection of aggressive chemicals on the surfaces of objects and in water. The most aggressive chemicals are alkaline and acidic substances, oxidizers, dimethylhydrazine and ammonia derivatives. Group rapid detection of aggressive chemicals is carried out by using a set of four aerosol devices filled with appropriate indicator formulations for these groups of substances. After splashing the indicator formulations on the surface of objects or in water samples, they monitor the appearance of a characteristic indication or indication effect from each formulation. The type of pollutant is judged by the combination of the effects received. Four aerosol devices on these groups of substances are placed in a case of special design, providing the convenience of carrying and their use.

**Keywords:** aerosol device, aggressive chemical, group express detection, water sample, surface of objects, chemical express laboratory of modular type.

**Введение.** Для улучшения охраны труда работников, связанных с контактированием с аварийно-химически опасными соединениями, при аварийных ситуациях, например, при разливе, смешении этих соединений друг с другом с возможным образованием взрыва или возникновения пожара возникает необходимость разработки их методов экспресс обнаружения. Идентификация типа загрязнения агрессивными химическими веществами поверхностей объектов обусловлена также необходимостью выбора соответствующих дегазирующих рецептур для быстрого проведения обеззараживания загрязнённых поверхностей.

В качестве агрессивных химических веществ (АХВ) рассматриваются вещества щелочного и кислого характера, окислители, производные диметилгидразина и аммиак. К производным диметилгидразина и аммиака относится несимметричный диметилгидразин (НДМГ, гептил), являющийся основным компонентом ракетного топлива, гидроксил аммония. К агрессивным химическим веществам относят соединения кислого (сильные и слабые кислоты) и щелочного характера (сильные и слабые основания), а также различные окислители (азотная, серная кислоты, перекись водорода и др.)

Для обнаружения веществ кислого и щелочного характера ранее использовался способ с применением индикаторных бумаг и специальных билетов, при проведении которого необходимым условием являлось обязательное присутствие оператора и непосредственный контакт оператора с загрязнённой поверхностью. В условиях проведения анализа работник подвергался вредному воздействию опасных соединений, отрицательно воздействующих на его здоровье. Поэтому целью исследования явилась необходимость разработки экспресс-метода определения АХВ.

**Материалы и результаты исследований.** Для экспресс-обнаружения АХВ и соединений урана в 2019 году была рекомендована для МЧС России портативная экспресс-лаборатория модульного типа ПХЛ МТ [1-6]. Модуль № 1 данной лаборатории предназначен для обнаружения загрязнённости поверхностей объектов агрессивными химическими веществами (рис. 1,2). Содержит четыре аэрозольных устройства с индикаторными рецептурами: на АХВ щелочного характера (АУ-2), кислого характера (АУ-3), производные диметилгидразина и аммиака (АУ-5), вещества окислительного характера (АУ-6).



Рисунок 1 – Внешний вид типового модуля ПХЛ МТ в закрытом положении



Рисунок 2 – Модуль № 1 в открытом положении

В модуле используется универсальное аэрозольное устройство (АУ), состоящее из флакона, имеющего распылитель и заполненный специфичной индикаторной смесью на агрессивные химические вещества. На поверхность аэрозольного устройства наносится этикетка методом шелкографии, обеспечивающей сохранение целостности этикетки при попадании на неё различных растворителей. В случае если тип АХВ известен, то для его обнаружения используют соответствующее аэрозольное устройство. Если тип загрязнения поверхностей объектов не известен, то с помощью всех четырёх аэрозольных устройств, производится экспресс-обнаружение характера загрязнения поверхности загрязняющими веществами [7]. В его основе лежит нанесение индикаторной смеси с удаленного расстояния от 10 до 15 см с использованием выше перечисленных четырёх типов аэрозольных устройств.

В составе индикаторной смеси используется (масс.%): 0,1 - 0,4 йодид калия, 0,1 - 0,3, глицерина, от 5 - 20, кислоты уксусной 0,3 - 1,5, трехводного ацетата натрия 0,4 - 3; с добавлением до полного объема 100 мл дистиллированной водой [8-11]. Для анализа веществ щелочного характера применяют 0,5-1 масс.% раствор индикатора фенолфталеина в этиловом спирте [12].

При определении веществ кислого характера используют 0,05-0,1 масс.% раствор каждого в отдельности или смеси двух индикаторов метилового красного и метилового желтого в объемном соотношении 1:1 в этиловом спирте. Для обнаружения слабых органических кислот типа уксусной, используют от 0,05 до 0,1 масс.% раствор 4-диэтиламиноазобензола в этиловом спирте [13], а для определения производных диметил- гидразина и аммиака 10- 20 масс.% раствор ацетата кобальта (II) в дистиллированной воде [14,15].

Групповое экспресс-обнаружение типа АХВ достигается тем, что производят распыление четырёх указанных выше индикаторных рецептур на различные участки обследуемой поверхности и проводят наблюдение появляющегося индикаторного эффекта от каждой из четырёх рецептур. А о типе загрязнения поверхности судят по комбинации появляющегося индикаторного эффекта на этих четырёх участках обследуемой поверхности в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Возможный тип загрязнителя поверхности в зависимости от показаний аэрозольных устройств

№ п/п	Типы индикаторов				Возможный тип загрязнителя
	АУ-2	АУ-3	АУ-5	АУ-6	
1	-	-	-	-	Загрязнение отсутствует
2	+	-	-	-	Присутствуют продукты щелочного характера, за исключение аммиака и гидроксида аммония
3	-	+	-	-	Присутствуют продукты кислого характера (соляная, уксусная, фосфорная, разбавленная серная кислоты, и др.)
4	-	-	+	-	Присутствуют производные диметилгидразина
5	-	-	-	+	Присутствуют продукты окислительного характера (хлор, бром, пероксид водорода и др.)
6	+	-	+	-	Присутствует аммиак или гидроксид аммония
7	-	+	-	+	Возможно наличие азотной, концентрированной серной и других кислот, проявляющих окислительные способности

При этом использовано свойство концентрированной азотной и серной кислот, а также разбавленной азотной кислоты проявлять окислительные способности, а аммиака, также как и производных диметилгидразина, проявлять восстановительные свойства. Поэтому при срабатывании только аэрозольного устройства на вещества щелочного характера можно идентифицировать присутствие данной группы веществ, за исключением аммиака и гидроксида

аммония; в случае одновременного срабатывания аэрозольных устройств на щёлочь и производные диметилгидразина можно идентифицировать наличие аммиака и гидроксида аммония (аммиачной воды). Подтверждением присутствия аммиака и аммиачной воды является также характерный резкий запах.

Срабатывание аэрозольного устройства только на кислоты позволяет идентифицировать присутствие продуктов кислого характера (например, соляная кислота, разбавленная серная кислота и др.). Срабатывание аэрозольного устройства только на окислители позволяет идентифицировать наличие продуктов окислительного характера (например, хлор, бром, гипохлорит натрия и др.). В случае одновременного срабатывания аэрозольных устройств на кислоты и окислители можно идентифицировать наличие концентрированной и разбавленной азотной, концентрированной серной, а также других кислот, проявляющих окислительные способности.

Портативная химическая лаборатория ПХЛ МТ может использоваться и для проведения группового экспресс-обнаружения АХВ в воде. Основными источниками возможных чрезвычайных ситуаций и химической опасности являются случаи утечки и попадания в воду АХВ, в том числе являющихся компонентами ракетного топлива [16-18]. Основными компонентами жидкого реактивного топлива в настоящее время являются меланж (смесь концентрированных азотной и серной кислот), используемый в качестве окислителя, и несимметричный диметилгидразин, применяемый в качестве восстановителя.

Следует отметить, что несимметричный диметилгидразин (НДМГ) при взаимодействии с окислителями выделяется большое количество энергии, что может носить взрывной характер. В воде НДМГ довольно быстро разлагается, но как сам НДМГ, так и продукты его частичного разложения, являются токсичными соединениями. Поэтому не исключены случаи получения поражений людьми, попавшими на загрязнённую НДМГ территорию и водоём.

Необходимость обнаружения загрязнённости воды всеми четырьмя группами АХВ обусловлена также выбором соответствующих дегазирующих рецептур для её обеззараживания (дегазации). В настоящее время для их обнаружения используют различные тест-наборы и инструментальные методы анализа. Они, как правило, требуют проведения отбора проб воды с последующим их анализом в специализированных лабораториях. Известен способ обнаружения наличия в воде продуктов кислого и щелочного характера с помощью набора универсальных индикаторных бумаг. Известны способы определения наличия НДМГ путем распыления реагента с использованием аэрозольного устройства, где в качестве реагента используют растворы хлорида, нитрата, сульфата или ацетата кобальта (II) в воде, с многократным пополнением индикатора [15].

Для обнаружения в пробах воды всех четырёх групп АХВ, включающих вещества щелочного ха-

рактера, вещества кислого характера, окислители и производные диметилгидразина необходимо одновременно использовать универсальные индикаторные бумаги, бумаги на окислители и индикаторную рецептуру на НДМГ. Недостатками приведенных выше способов с помощью индикаторных бумаг являются однократность их использования, ограниченный интервал рабочих температур и срок сохранения работоспособности во вскрытом состоянии, необходимость непосредственного контакта с обследуемой пробой. При этом необходимо также использовать дополнительные реактивы и принадлежности.

Предлагаемым техническим результатом является способ обеспечения многократного группового экспресс-обнаружения АХВ в воде. Что достигается расширением эксплуатационных возможностей за счёт использования универсальных аэрозольных устройств с групповыми специфичными индикаторными рецептурами, увеличения рабочего интервала температур и срока хранения индикаторных рецептур, обеспечения многократности использования, удобства и безопасности проведения работ.

При этом о наличии типа АХВ судят по комбинации появляющихся характерных индикационных эффектов в воде в соответствии с характером эталона, нанесённого на этикетке аэрозольного устройства, а для обнаружения веществ щелочного характера, кислого характера, веществ окислительного характера, аммиака и НДМГ используют индикаторные рецептуры, описанные выше.

Недостатком применения хлорида, нитрата или сульфата кобальта является сильное снижение вследствие гидролиза  $pH$  среды, которое приводит к преждевременному приходу в негодность металлических элементов распылительного устройства (металлическая пружина). Поэтому предложено использовать в качестве индикатора раствор ацетата кобальта, при котором изменение  $pH$  раствора происходит незначительно, а проявление коррозионных процессов сильно замедляется.

Для обнаружения присутствия веществ окислительного характера распыляют в четвёртую пробу индикаторную рецептуру для обнаружения окислителей, описанную выше и наблюдают спустя 3 минуты появление коричневого окрашивания. Для подтверждения их присутствия из четвёртой пробы, предварительно перед распылением индикаторной рецептуры на окислители, отбирают три-четыре капли воды, наносят на поверхность белой бумаги, производят нанесение на эти капли методом распыления из аэрозольного устройства 10% раствор соляной кислоты. Затем распыляют на эту поверхность индикаторную рецептуру для обнаружения окислителей и наблюдают наличие или отсутствие характерного синего окрашивания.

О типе загрязнителя в воде судят по комбинации полученных индикационных эффектов.

Одной заправкой рецептур аэрозольных устройств

обеспечивается проведение не менее 100 обнаружений загрязнённости вода. Таким образом, достигается групповое экспресс-обнаружение типа АХВ, повышение чувствительности, многократности, безопасности и надёжности обнаружения.

В предлагаемом способе используются универсальные аэрозольные устройства, описанные выше, в которых распыление индикаторных рецептур осуществляется за счёт многократного нажатия на распылительную головку насоса-распылителя. На рисунке 3 изображен общий вид аэрозольное устройство для обнаружения АХВ щелочного характера.

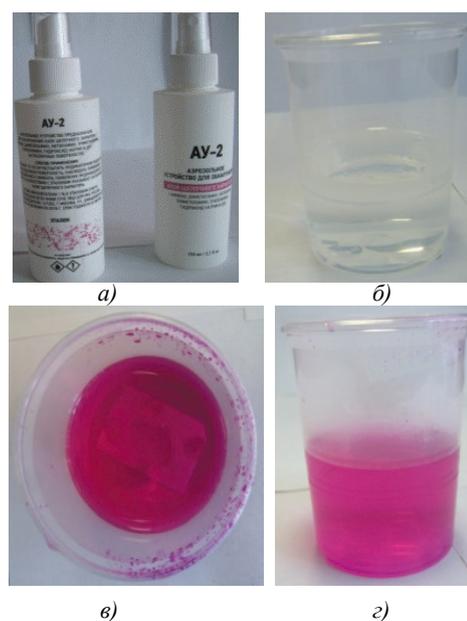


Рисунок 3 – Аэрозольное устройство для обнаружения АХВ щелочного характера и характер индикационного эффекта:

а) АУ-2 (вид спереди и сзади); б) холостая проба; в) со щёлочью (вид сверху); г) – со щёлочью (вид сбоку).

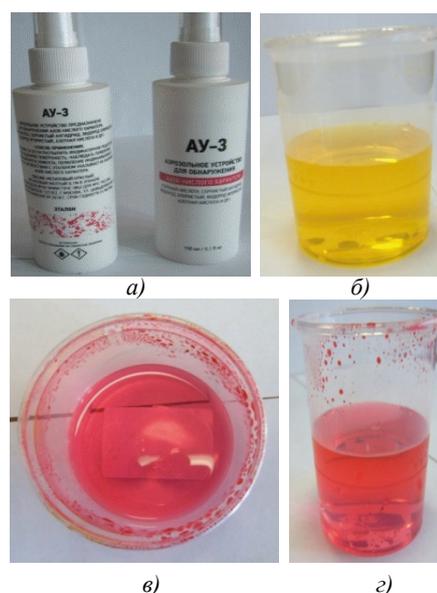


Рисунок 4 - Аэрозольное устройство для обнаружения АХВ кислого характера и характер индикационного эффекта:

а) АУ-3 (вид спереди и сзади); б) холостая проба; в) АХВ кислого характера (вид сверху); г) АХВ кислого (вид сбоку).

На рисунке 4 приведено аэрозольное устройство для обнаружения АХВ кислого характера. На рисунке 5 изображено аэрозольное устройство для обнаружения агрессивных восстановителей (производных диметилгидразина, НДМГ, аммиака и др.). На рисунке 6 приведено аэрозольное устройство для обнаружения АХВ окислительного характера.

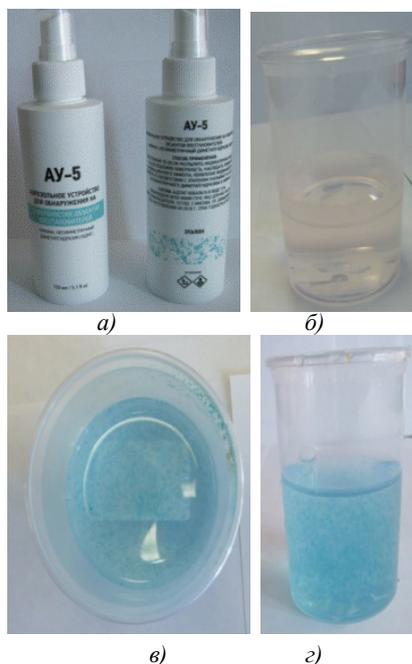


Рисунок 5 – Аэрозольное устройство для обнаружения агрессивных восстановителей (производных диметилгидразина, НДМГ, аммиака и др.):  
 а) АУ-5 (вид спереди и сзади); б) холостая проба;  
 в) НДМГ (вид сверху); г) НДМГ (вид сбоку).

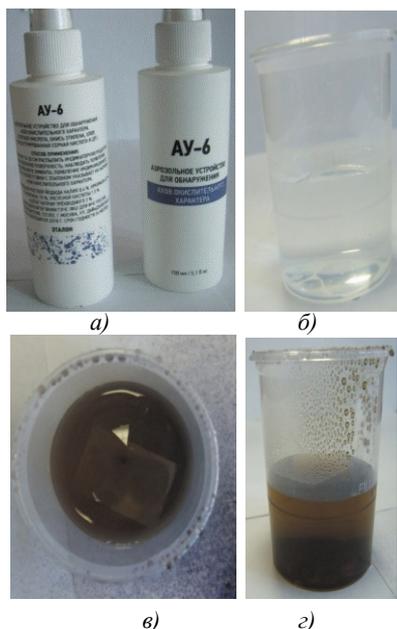


Рисунок 6 – Аэрозольное устройство для обнаружения АХВ окислительного характера:  
 а) АУ-6 (вид спереди и сзади); б) холостая проба;  
 в) АХВ окислительного характера (вид сверху);  
 г) АХВ окислительного характера (вид сбоку).

На рисунке 7 приведен характер индикационного эффекта от веществ окислительного характера, растворённых в воде, при нанесении пробы воды на белую бумагу с её подкислением.

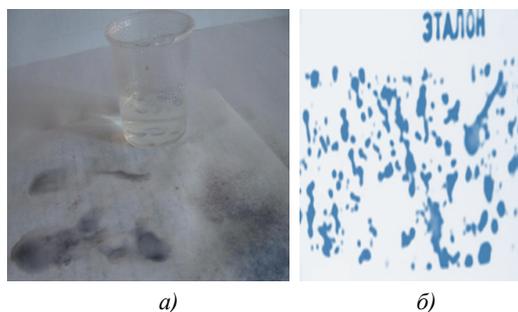


Рисунок 7 – Характер индикационного эффекта от веществ окислительного характера, растворённых в воде, при нанесении пробы на белую бумагу с подкислением:  
 а) в воде присутствуют вещества окислительного характера; б) окраска эталона АУ на окислителе.

Преимуществами применения способа с аэрозольным устройством являются: длительный срок хранения индикаторной рецептуры (более 2-х лет); отсутствие необходимости использования дополнительных реактивов для проведения обнаружения; отсутствие необходимости непосредственного контакта оператора с анализируемой пробой; многократность использования одного аэрозольного устройства (не менее 100 раз); расширение работоспособности в интервале температур от 0°С до плюс 40°С.

Аэрозольные устройства с индикаторными рецептурами рекомендованы нами к использованию для обнаружения типа загрязнённости воды различных водисточников известным или неизвестным АХВ. В случае, если тип загрязнения воды известен, то для обнаружения установленного типа АХВ используют одно соответствующее аэрозольное устройство. Для этого в прозрачную стеклянную или пластиковую тару отбирают пробу воды объёмом около 50 мл. Затем в отобранную пробу с помощью соответствующего аэрозольного устройства проводят кратковременное (3-4 нажатия на головку насоса-распылителя) распыление индикаторной рецептуры, раствор перемешивают и наблюдают до появления характерного индикационного эффекта. Чувствительность обнаружения загрязнения воды АХВ составляет не менее 1-2 мг/мл.

Характер индикационного эффекта от продуктов щелочного характера, продуктов кислого характера, производных диметилгидразина и аммиака, продуктов окислительного характера в сравнении с холостой пробой приведен на рисунках 3-6. Использование аэрозольных устройств на щёлочи, кислоты, производные диметилгидразина позволяет непосредственно определить наличия в воде соответственно продукты щелочного, кислого характера, производные диметилгидразина и аммиака. При этом появляется характерный индикационный эффект.

В случае присутствия в воде продуктов окисли-

тельного характера при использовании аэрозольного устройства на окислители спустя 3-4 минуты появляется индикационный эффект коричневого цвета, отличающийся от эталона индикационного эффекта, нанесённого на соответствующее АУ-6 (синего цвета). Это объясняется тем, что в водной среде, имеющей нейтральную или слабо щелочную среду, происходит частичное разложение крахмала индикаторного состава на глюкозу и фруктозу которые с йодом дают коричневое окрашивание.

Поэтому для подтверждения обнаружения в воде продуктов окислительного характера предложено три-четыре капли исследуемой воды нанести на бумагу или фильтр, затем обработать этот участок методом распыления 10 % раствором соляной кислоты для создания кислой среды и потом провести распыление индикаторной рецептуры на окислители. В случае наличия продуктов окислительного характера на поверхности бумаги или фильтра спустя 1-2 минуты появляется характерное синее окрашивание (рис. 7).

Если тип загрязнения АХВ в воде не известен, то осуществляют отбор 4 проб воды и проводят обнаружение последовательно всеми четырьмя указанными ранее аэрозольными устройствами, как указано выше. Обнаружение характера загрязнения при этом осуществляют в соответствии с рекомендациями таблицы 2.

Таблица 2- Возможный характер загрязнения воды АХВ в зависимости от показаний АУ

№ п/п	Типы индикаторов				Возможный тип загрязнителя
	АУ на щёлочи	АУ на кислоты	АУ на НДМГ и аммиак	АУ на окислители	
1	-	-	-	-	Загрязнение отсутствует
2	+	-	-	-	Присутствуют продукты щелочного характера, за исключение аммиака и гидроксила аммония
3	-	+	-	-	Присутствуют продукты кислого характера (соляная, уксусная, фосфорная, разбавленная серная кислоты и др.)
4	-	-	+	-	Присутствуют производные гидразина (диметилгидразин, метилгидразин и др.)
5	-	-	-	+	Присутствуют продукты окислительного характера (хлор, бром, пероксид водорода, гипохлорит натрия, гипохлорит кальция и др.)
6	+	-	+	-	Присутствует аммиак или гидроксил аммония (большие концентрации определяются по запаху)
7	-	+	-	+	Возможно наличие азотной или концентрированной серной кислоты и других кислот, проявляющих окислительные свойства.

Если цвет отобранной пробы воды маскирует индикационный эффект, то отбор пробы осуществляют путём погружения в воду обеззоленных фильтров или прикапывания воды на них и обнаружение загряз-

нённости воды осуществляют на этих фильтрах. Обнаружение типа загрязнителя в воде осуществляют по комбинации появляющегося индикационного эффекта от четырёх аэрозольных устройств.

**Заключение.** Таким образом, применение ПХЛМТ для группового экспресс-обнаружения агрессивных химических веществ на поверхности объектов и в воде следует рекомендовать для промышленного анализа в производственных условиях и чрезвычайных ситуациях

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пашинин В.А., Косырев П.Н., Посохов Н.Н., Семин А.А. Экспресс-обнаружение соединений урана и аварийно-химически опасных веществ на поверхностях различных объектов, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Технология гражданской безопасности.-2014.- №3 (41) - С.74-78.
2. Пашинин В.А., Косырев П.Н., Посохов Н.Н., Пушкин И.А. Совершенствование комплекта аэрозольных устройств для экспресс-обнаружения соединений урана и аварийно-химически опасных веществ на поверхностях различных объектов, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), - Технология гражданской безопасности.-2015.-Т 12, № 1 (43) - С.36-40.
3. Пашинин В.А., Косырев П.Н., Посохов Н.Н., Пушкин И.А., Валуев Н.П. Перспективные методы и средства экспресс-контроля степени зараженности поверхностей, технологии и пути развития, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Технология гражданской безопасности. - 2015. - Т 13, № 4 (50) - С.60-63.
4. Пашинин В.А., Косырев П.Н., Татаринов В.В., Павлов А.В. Комплект аэрозольных устройств для экспресс-обнаружения отравляющих и аварийно-химически опасных веществ, Вестник Академии военных наук.-2017.- № 2 - С.112-116.
5. Пашинин В.А., Опалёв С.Б. Экспресс-обнаружение загрязнённости поверхностей объектов транспорта аварийно химически опасными веществами и соединениями урана, Всероссийская научная конференция «Транспорт России XXI века», ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ), Москва, секция «Обеспечение экологической безопасности», 11.10.2018.
6. Пашинин В.А., Косырев П.Н., Посохов Н.Н. Портативная химическая экспресс лаборатория модульного типа для индикации агрессивных химических веществ на поверхностях объектов. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), «Технологии гражданской безопасности», Т. 16, 2019 г., № 2 (60), С. 16-22.
7. Пашинин В.А., Косырев П.Н., Посохов Н.Н., Семин А.А., Фадеев М.В. Патент на изобретение № 2563838 «Способ экспресс-обнаружения агрессивных химических веществ», приоритет от 24.03.2014, Опубликовано: 20.09.2015 Бюл. № 26.
8. Посохов Н.Н., Пашинин В. А., Косырев П.Н., Семин А.А., Халимова А. С., Фадеев М.В., патент на изобретение № 2568585«Индикаторный состав для экспресс-обнаружения окислителей», приоритет от 24.03.2014, опубликовано:20.09.2015 Бюл. №26.
9. Пашинин В.А., Косырев П.Н., Татаринов В.В., Хоруженко А.Ф. Способ экспресс-обнаружения полноты дезинфекции поверхностей объектов дезинфицирующими веществами окислительного характера, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Технология гражданской безопасности.-2018.-Т 15, № 1(55)- С.40-47.
10. Пашинин В.А., Козлов И.А. Способ и состав индикаторной рецептуры для экспресс-обнаружения качества дезинфекции поверхностей объектов транспорта веществами окислительного характера, Межотраслевой на-

учно-практический журнал «Экология промышленного производства», 2019, № 1, С. 63-67.

11. G01N 31/22, G01N 21/78, патент на изобретение № 23182 «Индикатор для полуколичественного определения активного хлора в дезинфицирующих растворах хлорной извести и гипохлоритов натрия и кальция».

12.. Пашинин В.А. Александров А.В. Технология экспресс-обнаружения загрязнённости поверхностей объектов железнодорожного транспорта агрессивными химическими веществами кислого и щелочного характера// Седьмая Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроения России», МГТУ им. Н.Э. Баумана, сборник трудов. - Москва, 2014, С. 267-268.

13. Посохов Н.Н., Пашинин В. А., Косырев П.Н., Халимова А. С., патент на изобретение № 2563836 «Применение аэрозольного устройства для экспресс-обнаружения агрессивных химических веществ кислого характера на поверхностях объектов», приоритет от 07.04.2014, опубликовано: 20.11.2015 Бюл. № 32.

14. Посохов Н.Н., Пашинин В. А., Косырев П.Н., Сёмин А.А., Халимова А.С., патент на изобретение № 2563839 «Индикаторный состав для экспресс-обнаружения несимметричного диметилгидразина и аммиака», приоритет от 24.03.2014, опубликовано: 20.09.2015, Бюл. № 26.

15. G01N 21/78, патент на изобретение № 2117935 «Способ определения наличия несимметричного диметилгидразина».

16. Pereezdchikov, I.V. Methodology of complicated system hazard analysis by the use of sharp and fuzzy sets // Chemical and Petroleum Engineering 41(7-8), 2005, pp. 391-395.

17. Pereezdchikov, I.V. Ranking industrial plant hazards // Chemical and Petroleum Engineering 41(5-6), 2005, pp. 340-343.

18. Babenko, S.P., Badin, A.V. About calculation of the deterministic effect of proteinuria in employees of enrichment plants of nuclear industry // GigienaiSanitariya 97(4), 2018, pp. 315-321.

*Статья поступила в редакцию 20.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 622.807.12

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0010

**АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ХРАНЕНИЯ УГОЛЬНОГО СЫРЬЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ**

© 2020

**Альмухаметова Светлана Газинуровна**, аспирант 2-го года обучения  
кафедры «Безопасности производств»

**Орлов Федор Александрович**, аспирант 2-го года обучения  
кафедры «Безопасности производств»

**Гендлер Семен Григорьевич**, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Безопасности производств»,  
*Санкт-Петербургский Горный Университет,*  
*(199106, Санкт-Петербург, ул. 21-я линия В.О., д. 2,*

*e-mails: sveta.almuhametowa@yandex.ru, miningorlov@gmail.com, sgendler@mail.ru)*

**Аннотация.** В данной статье рассматривается проблема выбросов угольной пыли в атмосферу при эксплуатации открытых угольных складов. Выделяются и описываются характерные особенности при транспортировке угольного сырья на склад. Приводятся примеры по количеству выбрасываемой угольной пыли открытыми угольными складами, которая в свою очередь приводит к респираторным заболеваниям не только у обслуживающего персонала, но и у населения, проживающего в непосредственной близости. Это является актуальной проблемой, требующей решений путем уменьшения или предотвращения выбросов угольной пыли в окружающую среду. Особое внимание уделено анализу существующих методов по пылеподавлению на открытых угольных складах, на основе которого автор приходит к выводу, что они либо малоэффективные, либо энергоемкие, либо требуют больших затрат при проектировании. В связи с этим, целесообразен переход к закрытому типу хранения угля. На основе анализа особенностей эксплуатации закрытых угольных складов установлено, что с их помощью решается проблема выбросов пыли в атмосферу и ряд других проблем, связанных с эксплуатацией открытых угольных складов. Приводится сравнение открытого типа хранения угля с закрытым. В результате, сделан вывод, что закрытый тип хранения имеет преимущество с экономической точки зрения, но при этом возникает необходимость в решении проблемы высокой концентрации пыли с выделяющимся газом метаном внутри закрытых складов. Данный вопрос является малоизученной и требует более детального анализа.

**Ключевые слова:** открытые угольные склады, угольная пыль, запыленность, вредное воздействие, респираторные заболевания, дисперсность пыли, пылеподавление, закрытые угольные склады.

**ANALYSIS OF PROBLEMS OF STORAGE OF COAL RAW MATERIALS BY OPEN METHOD**

© 2020

**Almuhametova Svetlana Gazinurovna**, postgraduate student of the 2nd year of study  
Department of "Industrial Safety"

**Orlov Fedor Aleksandrovich**, postgraduate student of the 2nd year of study,  
Department of "Industrial Safety"

**Gendler Semyon Grigoryevich**, doctor of technical Sciences,  
Professor of the Department of industrial Safety»,  
*Saint Petersburg Mining University,*  
*(199106, Saint Petersburg, ul. 21-ya Liniya V. O., d. 2,*

*e-mails: sveta.almuhametowa@yandex.ru, miningorlov@gmail.com, sgendler@mail.ru)*

**Annotation.** This article discusses the problem of coal dust emissions into the atmosphere during the operation of open coal warehouses. The characteristic features of transporting coal raw materials to the warehouse are highlighted and described. Examples are given of the amount of coal dust emitted by open coal warehouses, which in turn lead to respiratory diseases not only in service personnel, but also in the population living in the immediate vicinity. This is an urgent problem that requires solutions by reducing or preventing coal dust emissions into the environment. Special attention is paid to the analysis of existing methods for dust suppression in open coal warehouses, on the basis of which the author comes to the conclusion that they are either inefficient, or energy-intensive, or require high costs in the design. In this regard, it is advisable to switch to a closed type of coal storage. Based on the analysis of the operation features of closed coal warehouses, it was found that they solve the problem of dust emissions into the atmosphere and a number of other problems associated with the operation of open coal warehouses. A comparison of the open type of coal storage with the closed type is given. As a result, it is concluded that the closed type of storage has an advantage from an economic point of view, but there is a need to solve the problem of high concentrations of dust with methane gas released inside closed warehouses. This issue is poorly understood and requires more detailed analysis.

**Keywords:** open coal warehouses, coal dust, dustiness, harmful effects, respiratory diseases, dust dispersion, dust suppression, closed coal warehouses.

**Введение.** По данным за 2018 год было добыто 439 млн. т. угля. Отрасль угледобычи достиг рекордных производственных показателей. На данный момент, Россия занимает место в тройке лидеров по объему добычи угля. По прогнозам, к 2030 году экспорт угольного сырья увеличится до 80 млн. т. в год. Процесс добычи угля состоит из следующих этапов:

1. Вскрытие шахтного поля.
2. Подготовка шахтного поля к очистной выемке (проведение выработок).
3. Очистная выемка.
4. Транспортировка угля и его дальнейшее промежуточное хранение.

Традиционно, транспортировка угольного сырья производится на склады открытого типа для промежуточного хранения. И именно при транспортировке и хранении угольного сырья происходит наибольший выброс угольной пыли в атмосферу по причине ветрового переноса пыли. При транспортировке и разгрузке угольных масс происходит механическое разрушение и истирание угольных брикетов, что сопровождается интенсивным пылеобразованием [1,2].

Анализируя мировой опыт строительства и эксплуатации перегрузочных угольных терминалов и открытых угольных складов, можно отметить, что склады хранения и перегрузки угля в большинстве случаев располагаются в черте городов. Поэтому в зоне вредного воздействия угольной пыли находится не только обслуживающий персонал открытых складов, но и население близлежащих городов, флора и фауна [3]. Например, на Кузбасском разрезе в г.Междуреченске были зафиксированы высокие значения пылевой нагрузки 200-245 мг/м<sup>2</sup>·сут. При этом пыль, содержащая крупнодисперсные частицы размером от 50 мкм до 100 мкм, осаждалась внутри разреза, а фракции пыли размером менее 50 мкм выносятся воздушными потоками за пределы разрезов, загрязняя окружающую среду. Следовательно, запыленность воздуха в пределах рабочей зоны и за её пределами (в жилой зоне) значительно превышают предельно допустимый уровень (ПДУ = 0.5 мг/м<sup>3</sup>) [1,4].

Ежегодно в России при горных выработках и перевалках в атмосферу выбрасывается до 50 тыс. тонн пыли. При выносе и осаждении угольной пыли в количестве более 58 кг/га в месяц, наблюдаются значительные изменения в жизнедеятельности растений и животных в месте, где происходит оседания пылевых отложений. При увеличении концентрации в воздухе мелкодисперсной пыли до 10 микрограмм на 1 м<sup>3</sup> с длительным воздействием на организм, проявление хронических заболеваний верхних дыхательных путей возрастает на 8-9%, из них 2,5-4,0% приходится на ведущие нозологические формы заболеваний в острой форме и 3-5% — на сердечно-сосудистые заболевания. Хотелось бы отметить, что смертность от рака легких резко возрастает на 8-11 %. Перспектива роста заболеваний легких у населения, живущего в непосредственной близости к угольным выработкам, по прогнозам составляет 10%.

Угольная пыль при вдыхании попадет в различные области органов дыхания. Частицы размеров больше 10 мкм отделяются в верхних дыхательных путях, то есть в носу и горле, только частицы размером менее 10 мкм достигают более глубоких дыхательных путей, альвеол или легочных альвеол. Для оценки опасности для здоровья, следовательно, большое значение имеет не только концентрация частиц, а также размер частиц. Поэтому высокая концентрация мелкодисперсной пыли особенно опасна. Но опасность не только в угольной пыли, но и в содержащихся в них токсичных веществ, таких как диоксид серы, хлористый водород, ртуть, мышьяк, кадмий и т.д [5,6].

Поэтому **целью** данной работы является анализ проблемы хранения угольного сырья открытым способом и предложение возможных решений по уменьшению или предотвращению выбросов угольной пыли в окружающую среду.

**Материалы и результаты исследования.** На сегодняшний день во всех угольных складах имеются системы для пылеподавления и предотвращения ветрового уноса угольной пыли. Для этого используются следующие методы:

1. Гидроорошение (рис.1). Это подача воды под высоким напором через оросительные форсунки, установленные по периметру, что создает водную завесу при работах по разгрузке и загрузке угольного сырья. Наибольшая эффективность данной системы пылеподавления наблюдается при отсутствии ветра, а именно уменьшение концентрации пыли в воздухе достигает 80%. Однако, с увеличением скорости ветра эффективность падает, и при скорости ветра в пределах 5-10 м/с может снизиться до 60%. Также основным фактором, влияющим на эффективность пылеподавления, является температура. При отрицательных температурах на выходящем сопле форсунки происходит замерзание воды, вследствие чего снижается и эффективность пылеподавления до 40%. Гидроорошение, в лучшем случае, обеспечивает снижение запыленности воздуха в 10-15 раз, но концентрация пыли в воздухе все равно превышает ПДК. Для необходимого эффекта нужно расходовать большое количество водных ресурсов – более 45-55 литров на тонну угля, что значительно снижает качество угольного сырья и значительно увеличивает энергоемкость процесса [7-9].



Рисунок 1 – Гидроорошение в крупнейшем в Российском порту по перевалке угля АО «Восточный Порт»

2. Покрытие пеной угольных масс эффективно предотвращает ветровой унос пыли до 98%, но не применим при разгрузочно-погрузочных работах, что значительно сужает область применения данного способа. Однако, именно на этой стадии интенсивность пылеобразования наиболее высока. Метод пылеподавления покрытием пеной угольного сырья так же снижет качество угля, пены мешают нормальному протеканию процессов обогащения, поэтому требуется гасить пену, иначе заметно снижается качество кокса [10-12].

3. Противоветровой барьер существенно снижает унос пыли с территории открытых угольных складов, но применимо только к крупнодисперсной и среднелдисперсной пыли. К тому же строительство таких экранов является очень дорогим, только высота таких барьеров может достигать 25 метров в высоту [13-15].



Рисунок 2 – Противоветровой барьер в Мурманском порту

Исходя из выше перечисленных методов, применяемых для пылеподавления при эксплуатации открытых угольных складов, следует, они либо малоэффективные, либо энергоемкие, либо имеют большие затраты при проектировании.

Решением проблемы выбросов угольной пыли является давно известная и давно применяемая за границей технология – это закрытые склады угля.

Использование закрытых хранилищ для угля началось в портах Тайваня в конце прошлого столетия, а на текущий момент действующие закрытые склады угля эксплуатируются в Германии (Роттердам), Китае, России ("Восточно-Уральский Терминал"), Северной Корее (Раджин), некоторых европейских странах (Вентспилс, Клайпеда).

Помимо использования при перегрузке на различных этапах транспортировки угля угольные склады закрытого типа используются на тепловых электростанциях, также являющихся потребителями угольного топлива. Специфика проблем хранения угля при перегрузке в порту схожа с теми проблемами, которые возникают при эксплуатации тепловых электростанций. Одним из ярчайших примеров использования закрытых складов угля на электростанциях является угольный склад электростанции Бокамина, расположенной в городе Коронель в Чили. Решение возвести закрытое хранилище угля было

обусловлено желанием руководства электростанции соответствовать высочайшим экологическим стандартам в мире. Данное хранилище является уникальным и представляет собой купольную камеру для хранения угля неправильной формы. Ёмкость хранилища составляет 150000 тонн, а площадь более 15000 квадратных метров. На данном складе применяется естественная и принудительная вентиляция для обеспечения безопасной эксплуатации. Формирование штабеля угля осуществляется с помощью поворотного штабелера и фронтальных погрузчиков, что обеспечивает максимально эффективное использование рабочих площадей склада такого типа.

Кроме терминалов перегрузки и электростанций закрытые угольные склады используются на обогатительных угольных фабриках, некоторых химических заводах, предприятиях по производству угольного кокса, а также на металлургических комбинатах и заводах. Однако, использование закрытых хранилищ угля в вышеперечисленных случаях не рассматривается в данной работе по причине совершенно иных условий, при которых осуществляется хранение угля.

Поэтому замена открытых складов угля закрытыми складами решила бы ряд проблем, таких как:

- выбросы угольной пыли в атмосферу;
- окисление углей и дальнейшая потеря их при переработке;
- воздействие атмосферных осадков (дождь, снег и т.д.);
- измельчение угля до более мелких фракций;
- значительные капитальные и эксплуатационные затраты на пылеподавляющие устройства;
- несовершенное с технологической точки зрения и малопроизводительное транспортное оборудование;
- большой штат высококвалифицированного эксплуатационного персонала;
- малая производительность обратной подачи со склада, по сравнению с устройствами при погрузке угля в железнодорожные вагоны [16-17].

В свою очередь закрытые склады угля имеют ряд преимуществ перед складами открытого типа:

- защищенность от ветра и атмосферных осадков,
- отсутствие потерь при перегрузочных работах,
- отсутствие выбросов угольной пыли в атмосферу,
- компактность,
- полная механизация транспортных операций [18].

По результатам расчета, приведенным в «Технологии производства кокса», при вместимости до 100 тыс. т закрытые склады экономичнее открытых, а при большей емкости затраты на них больше.

К тому же, если учесть, что ежегодно открытыми складами угля в атмосферу выбрасываются 50 т угольной пыли, а закрытые склады полностью исключают выбросы, выбор очевиден [9].

На сравнительную оценку стоимости проектирования и строительства складов, закрытого и открытого типа, могут повлиять лишь объем грузооборота, ко-

торый будет планироваться, так же естественные условия территорий и акваторий, характер грунтов, близость жилья и т.д. Накопленный опыт, как мировой, так и внутренний, говорит о том, что открытые и закрытые технологии перевалки угля, как минимум, выигрывают точки зрения цены, при этом закрытые технологии могут быть в десятки, а то и в сотни раз дешевле. [20]. Однако в целом, закрытые терминалы могут быть дешевле по следующим основным причинам:

- нет необходимости в применении дорогостоящих пылеподавляющих технологий, что значительно снижает затраты;
- очистные сооружения значительно дешевле;
- оборудование, которое необходимо для складов угля закрытого типа, дешевле, чем для складов открытого типа;
- площадь территории закрытого перегрузочного комплекса в 2-3 раза меньше, соответственно, расходы, которые идут на планировочные работы инженерных коммуникаций, прокладку автодорог и прочих моментов, будут значительно меньше.
- сеть конвейерных линий и число перегрузочных станций значительно меньше;
- штрафные санкции, из-за которых происходит загрязнение окружающей среды, будут исключены и т. д. [21-23].
- расход на энергопотребление значительно ниже, то есть меньше не только капитальные затраты, но и эксплуатационные расходы;

Закрытые склады угля решают ряд проблем, которые присутствуют при эксплуатации открытых, но возникает проблема, характеризующаяся высокой концентрации пыли с выделяющимся газом метаном внутри закрытых складов. Данная проблема, связанная с условиями в закрытых угольных складах, является мало изученной и требует более детального анализа.

**Заключение.** Переход от открытого типа хранения к закрытому типу хранения и перевалки угля предотвращает выбросы угольной пыли в атмосферу. Поэтому предложенное решение перехода к закрытому хранению угля, по уменьшению и предотвращению выбросов угольной пыли в окружающую среду имеет большой потенциал в будущем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Захаренков В.В., Кислицына В.В. Гигиеническая оценка условий труда и профессионального риска для здоровья работников угольной шахты // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 11. – С. 14-18.
2. Захаренков В.В., Олещенко А.М., Кислицына В.В., Корсакова Т.Г., Суржиков Д.В. Оценка профессионального риска для здоровья работников угольных разрезов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/109-9319> (дата обращения: 24.02.2014).
3. Захаренков В.В., Суржиков Д.В., Олещенко А.М., Кислицына В.В., Корсакова Т.Г., Большаков В.В., Мотуз И.Ю. Классификация условий труда работников угольных разрезов по факторам риска // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 12. – С. 85-87.
4. Кислицына В.В., Корсакова Т.Г., Мотуз И.Ю. Особен-

ности условий труда и профессионального риска работников, занятых при открытой добыче угля // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 4. – С. 52-55.

5. Фоменко Д.В., Уланова Е.В., Золоева П.В., Захаренков В.В., Бурдейн А.В., Панев Н.И. Клинико-экспериментальное исследование метаболических изменений организма при длительном вдыхании угольно-породной пыли // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2010. – Т. 30. – № 1. – С. 117-122.

6. Фоменко Д.В., Пэрохова Л.Г., Панев Н.И., Казичка А.С., Бондарев О.И. Клинико-экспериментальные исследования метаболического ответа организма на хроническое воздействие угольно-породной пыли // Медицина труда и промышленная экология. – 2011. – № 2. – С. 15-21.

7. Михайлова Н.Н., Бугаева М.С., Бондарев О.И. Влияние вдыхания угольно-породной пыли на морфологические изменения сердечной мышцы (экспериментальные исследования) // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. – 2012. – № 5-2 (87). – С. 112-114.

8. Ветошкин А.Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов: Учебно-практическое пособие / Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 316 с.

9. Иванов Е.Б., Мучник Д.А. Технология производства кокса. – Киев.: Издательское объединение «Вища школа»./1976г., 232 с.

10. Кривошеин Д.А. Основы экологической безопасности производств / Д.А. Кривошеин, В.П. Дмитренко, Н.В. Федотова / Издательство: Лань, 2015 – 336 с.

11. Мотузова Г.В. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия/ Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова / М.: Издательство Московского университета, 2013. – 302 с.

12. Редина М.М. Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды / М.М. Редина, А.П. Хаустов / Издательство: Юрайт, 2016. – 431с.

13. Чекалова Л.В. Экотехника. Аппаратура процессов очистки промышленных газов и жидкостей: учебное пособие. / Л.В. Чекалова, А.В. Сугака, Д.Е. Смирнов / под общ. ред. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2013. – 180 с.

14. Dennis P. Nolan. Loss Prevention and Safety Control: Terms and Definitions.: CRC Press, Published June 14, 2017 year – 324 pp.

15. Usmanova R.R., Clearing of Industrial Gas Emissions: Theory, Calculation, and Practic/ R.R. Usmanova, G.E. Zaikov / CRC Press, 2014 year –384 pp.

16. André B. de Haan. Process Technology: An Introduction.: Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2015 year – 540 pp.

17. Seville J.P. Gas Cleaning in Demanding Applications.: Springer Science & Business Media, 2013 year –310 pp.

18. Sanitary Protection of Atmospheric Air: Purification of Industrial Discharge Gases from Suspended Substances/ Vladimir Uzhov// U.S. Department of Commerce, Office of Technical Services. 2016. Vol. 153 pp.

19. Process Engineering Data Book/ Nicholas P. Cheremisinoff, Louise Ferrante// CRC Press.2015. – 349 pp.

20. Occupational Safety and Hygiene VI: Proceedings of the 6th International Symposium on Occupation Safety and Hygiene/ Pedro M. Arezes, João Santos Baptista, Monica P. Barroso, Paula Carneiro, Patrício Cordeiro, Nelson Costa, Rui B. Melo, A. Sergio Miguel, Gonçalo Perestrelo// CRC Press. 2018. - 620 pp.

21. Industrial Safety Management: 21st Century Perspectives of Asia/ J Maiti, Pradip Kumar Ray// Springer. 2017. - 156 pp.

22. Handbook of Occupational Safety and Health/ S. Z. Mansdorf/John Wiley&Sons. 2019.-752 pp.

23. Occupational Safety and Hygiene IV/ Pedro M. Arezes, João Santos Baptista, Monica P. Barroso, Paula Carneiro, Patrício Cordeiro, Nelson Costa, Rui B. Melo, A. Sergio Miguel, Gonçalo Perestrelo// CRC Press. 2016. - 636 pp.

*Статья поступила в редакцию 27.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 628.517.2

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0011

**КОМПОНОВКА ЩЕЛЕВОЙ РЕЗОНАТОРНОЙ СЕКЦИИ ГЛУШИТЕЛЯ**

© 2020

**Плицина Ольга Витальевна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

**Рогова Татьяна Николаевна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

*Российский университет транспорта*

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mails: plitsa@yandex.ru, tatnik2009@rambler.ru)

**Аннотация.** Работа посвящена снижению шума в инженерных сетях. Указано на перспективность щелевого глушителя для систем с воздуховодами и газоходами большого поперечного сечения. Отмечены технологические и эксплуатационные возможности включения в глушитель дополнительной щелевой секции. Представлена дополнительная двухщелевая секция, составленная из резонаторов Гельмгольца. На основании расчетов установлено, что ровное широкополосное снижение шума обеспечивается настройкой щелевых резонаторов в геометрической прогрессии со знаменателем 20.8. Для секции с тремя резонаторами в каждом щелевом канале показано следующее: резонатор с наиболее высокой частотой настройки не оказывает существенного влияния на снижение шума двумя другими резонаторами; резонатор с наиболее высокой частотой настройки может быть размещен между резонаторами с более низкими частотами настройки. Предложено размещение щелевых резонаторов, сокращающее длину секции в 1.5 раза при уменьшении эффективности на 30%. Полученные данные свидетельствуют, что секция, составленная из щелевых резонаторов Гельмгольца, обеспечивает щелевому глушителю дополнительное снижение шума в диапазоне частот 31.5-125 Гц и допустимую длину. Щелевая резонаторная секция глушителя рекомендуется для инженерных сетей, не имеющих габаритных ограничений на магистральном участке большого поперечного сечения.

**Ключевые слова:** глушитель, шум, воздухопроводы, газоходы, большое поперечное сечение, щелевые каналы, равномерное снижение шума, секция глушителя, расширение частотного диапазона, резонаторы Гельмгольца, частота настройки, расположение щелевых резонаторов, эффективность.

**COMPOSING THE SLOTTED RESONATOR SECTION OF THE SILENCER**

© 2020

**Plitsyna Olga Vital'evna**, ph.D. of Engineering Science,  
Assistant Professor of Safety Management in the Technosphere

**Rogova Tatyana Nikolaevna**, ph.D. of Engineering Science,  
Assistant Professor of Safety Management in the Technosphere

*Russian University of Transport*

(127994, Russia, Moscow, Obraztsova st., 9, build. 9, e-mails: plitsa@yandex.ru, tatnik2009@rambler.ru)

**Abstract.** The paper is devoted to noise reduction in engineering networks. It is indicated that the slotted silencer is promising for systems with large cross-section air ducts and gas flues. The technological and operational possibilities of including in the silencer the additional slotted section are noted. The additional two-slot section containing Helmholtz resonators is presented. Based on the calculations it was found that broadband noise reduction is provided by tuning the slotted resonators in a geometric progression with a denominator of 20.8. For a section with three resonators in each slot duct the following is shown: the resonator with the highest tuning frequency does not significantly effect the noise reduction of the other two resonators; the resonator with the highest tuning frequency can be placed between resonators with lower tuning frequencies. Compact placement of slotted resonators is proposed. The length of the device is shorted by 1.5 times while reducing the efficiency by 30%. The obtained data show that the silencer section composed from Helmholtz slotted resonators allows fulfilling silencer with additional noise reduction in the frequency range of 31.5-125 Hz and acceptable length. Slotted resonator section of the silencer is recommended for usage in engineering networks that do not have length restrictions for the main duct of the large cross-section.

**Keywords:** silencer, noise, air ducts, gas flues, large cross-section, slotted ducts, even noise reduction, silencer section, expanding the frequency range, Helmholtz resonators, tuning frequency, placement of slotted resonators, efficiency.

**Введение.** Результаты расчетов [1] и испытаний [2, 3] свидетельствуют о перспективности глушителя, щелевые каналы которого образованы ступенчатыми перегородками, в сетях воздухопроводов и газоходов большого поперечного сечения.

Щелевая конструкция отличается технологичностью и способностью при длине устройства до 2м обеспечивать необходимое снижение шума в различ-

ных эксплуатационных условиях. В сетях, не имеющих габаритных ограничений на магистральном участке, может быть применена дополнительная секция глушителя [4-8].

Если с помощью ступенчатых перегородок сформировать дополнительную секцию из резонаторов Гельмгольца, то будут созданы условия [9-13] для повышения эффективности глушителя в диапазоне

частот 31.5-125 Гц без внесения в сеть значительных потерь давления.

**Цель работы** – расширение частотного диапазона снижения шума щелевым глушителем за счет дополнительной секции, составленной из щелевых резонаторов Гельмгольца.

**Задачи работы:** установить зависимость между частотами настройки щелевых резонаторов Гельм-

гольца, определяющую ровное широкополосное снижение шума; выявить последовательность размещения щелевых резонаторов Гельмгольца, позволяющую сокращать длину глушителя.

**Материалы и результаты исследования.** Секция глушителя, содержащая резонаторы Гельмгольца, составляется из двух симметрично расположенных щелевых каналов (рис. 1.а).

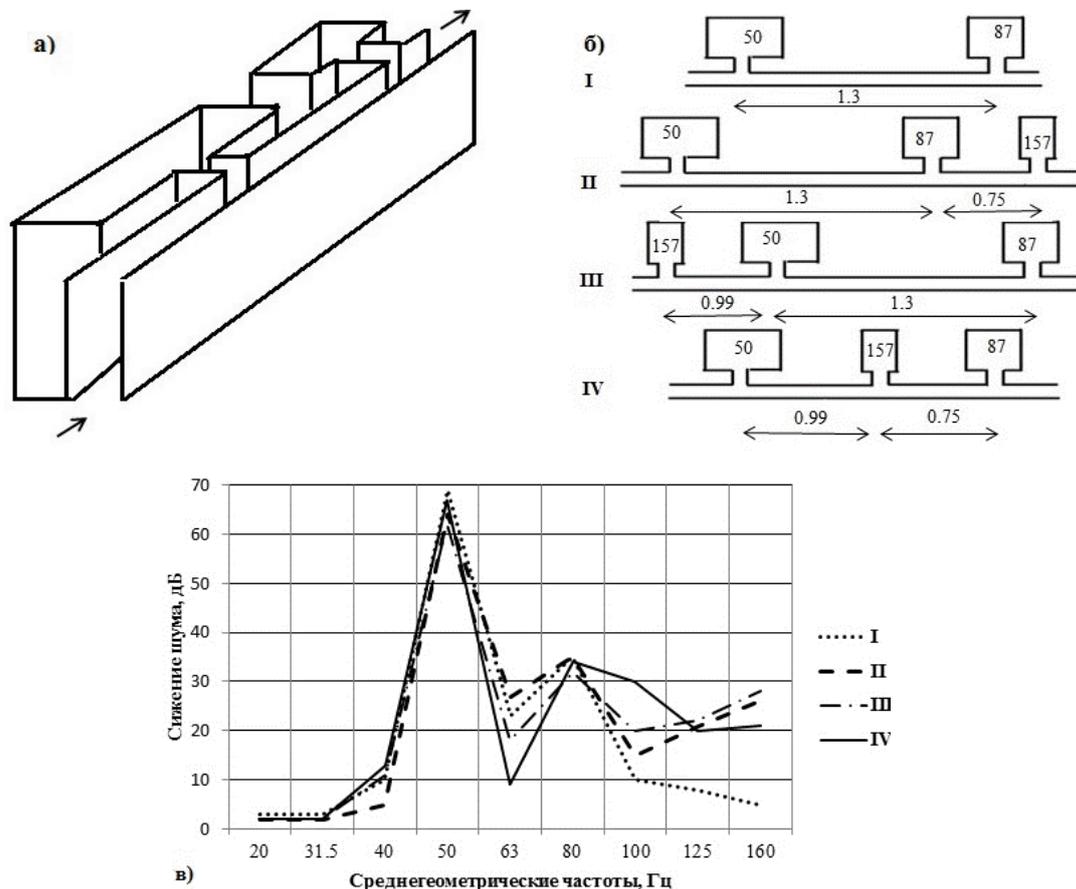


Рисунок 1 – Резонаторный щелевой канал: а – форма канала; б – варианты расположения резонаторов; в – акустические характеристики вариантов

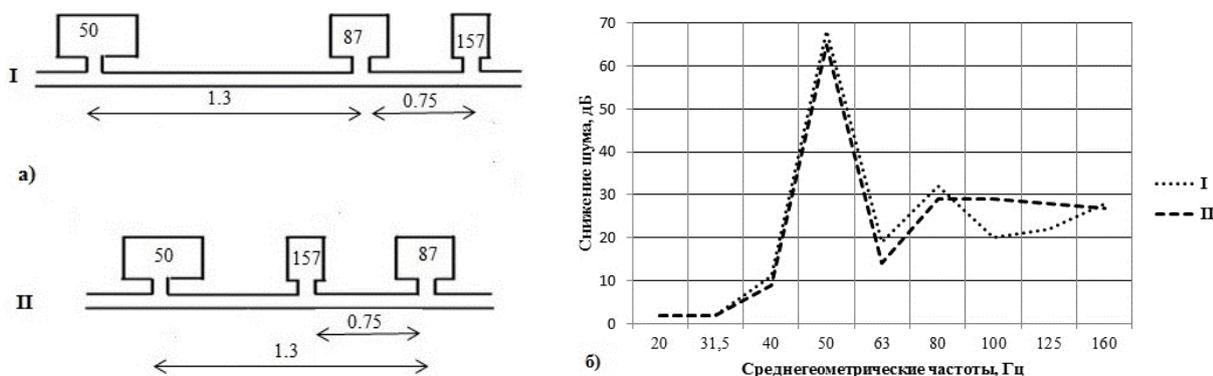


Рисунок 2 – Компоновка резонаторной секции: а – варианты расположения резонаторов в каналах секции; б – акустические характеристики вариантов

Рассмотреть возможности такой секции позволяет разработанная на принципах модульности S-модель щелевого глушителя [3], адекватность которой реаль-

ным процессам распространения звука подтверждена экспериментально [3].

Результаты расчета вариантов [14-20] резонатор-

ной секции свидетельствуют, что ровную в наиболее широком частотном диапазоне акустическую характеристику имеет устройство, содержащее щелевые резонаторы, частоты настройки которых образуют геометрическую прогрессию со знаменателем 20.8. Расстояние между различно настроенными резонаторами определяется четвертью среднегеометрической длины звуковой волн.

Для выявления возможности уменьшения длины секции рассмотрены устройства с двумя (рис.1.а) и тремя резонаторами в каждом щелевом канале. Резонаторы были настроены на частоты 50 Гц, 87 Гц, 157 Гц и расположены на расстоянии, м друг от друга согласно рисунку 1.б.

Оценка по минимальным значениям, (рис. 1.в), которая предусматривает работу резонаторов в потоке, позволяет считать, что резонатор с наиболее высокой частотой настройки (кривые I, II, III) не оказывает существенного влияния на снижение шума двумя другими резонаторами (кривая IV).

Следовательно, резонатор с наиболее высокой частотой настройки может быть размещен между резонаторами с более низкими частотами настройки при сохранении необходимой длины между резонаторами с соседними частотами (рис. 2.а). Компактное размещение резонаторов, по сравнению с размещением по порядку изменения частот настройки, сокращает длину секции в 1.5 раза при снижении наименьшей эффективности (которая характеризует равномерное снижение шума) на 30% (рис. 2б).

**Заключение.** Секция, составленная из щелевых резонаторов Гельмгольца, обеспечивает глушителю дополнительное равномерное снижение шума в диапазоне частот 31.5-125 Гц и длину, не превышающую 3.5 м – стандартную длину глушителей на магистральных воздуховодах или газоходах. Щелевая резонаторная секция глушителя рекомендуется для применения в инженерных сетях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Plitsyna, O. Selecting the parameters of the reactive silencer for exhaust ventilation systems / O. Plitsyna, T. Rogova // *Akustika*. – 2019. – Vol.34. – P. 85-87.
2. Плицына, О.В. Противопожарная конструкция глушителей / О.В. Плицына, Т.Н. Рогова // *Техносферная безопасность*. – 2019. – Т. 3(24). – С. 73-77. – Режим доступа: <https://uigps.ru/userfiles/ufiles/nauka/journals/ttb.pdf>.
3. Плицына, О.В. Характеристики глушителя щелевой конструкции / О.В. Плицына, Т.Н. Рогова // *Вестник НЦБЖД*. – 2019. – № 4(42). – С. 159-163.
4. Glav, R. Study of folded resonator including the effects of higher order modes / R. Glav, P.L. Regaund, M. Abom // *Journal of Sound and Vibration*. – 2004. – Vol. 273. – № 4-5. – P. 777-792.
5. Kar, T., Munjal, M.I. Generalized analysis of a muffler with any number of interacting ducts / T. Kar, M.I. Munjal // *Journal of Sound and Vibration*. – 2005. – Vol. 285. – № 3. – P. 585-596.
6. Gerges, S.N.Y. Muffler modeling by transfer matrix method and experimental verification / S.N.Y. Gerges, R. Jordan, F.A. Thieme, J.L. Bento Coelho // *Journal of the*

*Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2005. – Vol. 27. – № 2. – P. 132-140.

7. Груданов, В.Я. Моделирование и оптимизация гидравлических и акустических характеристик глушителей шума поршневых двигателей / В.Я. Груданов, Л.Т. Ткачева // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2017. – № 4. – С. 17-28.

8. Ji, Z.L. Acoustic attenuation performance analysis of multi-chamber reactive silencers / Z.L. Ji // *Journal of Sound and Vibration*. – 2005. – Vol. 283. – № 1-2. – P. 439-446.

9. Гусев, В.П. Глушители шума систем вентиляции и их акустические характеристики / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко // *АВОК*. – 2009. – № 4. – С. 46-50.

10. Тербнев, А.В. Совершенствование шумоглушителей сбросов газа высокого давления / А.В. Тербнев, О.Н. Емельянов, Л.Р. Яблоник // *Вести газовой науки*. – 2017. – № 5. – С. 100-105.

11. Гусев, В.П. К вопросу о распространении шума в больших воздуховодах и газоходах / В.П. Гусев, М.А. Солодова // *Academia. Architecture and Construction*. – 2010. – № 3. – С. 211-218.

12. Гусев, В.П. К вопросу об аэроакустических испытаниях вентиляционного оборудования / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко // *АВОК*. – 2002. – № 4. – С. 75-76.

13. Гусев, В.П. К вопросу об аэроакустических испытаниях вентиляционного оборудования / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко // *АВОК*. – 2002. – № 4. – С. 75-76.

14. Abbad, A. Numerical and experimental investigations on the acoustic performances of Helmholtz resonators / A. Ahmed, A. Noureddine, O. Morvan, D. Olivier // *Journal of Sound and Vibration*. – 2019. – Vol. 459. – P. 1148-1173.

15. Romero-Garcia, V. Use of complex frequency plane to design broadband and sub-wavelength absorbers / V. Romero-Garcia, G. Theocharis, O. Richoux, V. Pagneux // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 2016. – Vol. 139(6). – P. 3395-403.

16. Komkin, A. I. Sound absorption by a Helmholtz resonator / A. I. Komkin, M. A. Mironov, A. I. Bykov // *Acoustical Physics*. – Vol. 63(4). – P. 385-392.

17. Griffiths, S. Materials composed of elastic Helmholtz resonators for acoustic wave absorption / S. Griffiths, B. Nennig, S. Job // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 2017. – Vol. 141(1). – P. 254-264.

18. Yu, X. Vibroacoustic modeling of an acoustic resonator / X. Yu, Z. Lu, L. Cheng, F. Cui // *Journal of Sound and Vibration*. – 2018. – Vol. 417. – P. 548-573.

19. Abbad, A. Adaptive Helmholtz resonator: modeling, characterization, and control / A. Abbad, K. Rabenoroso, M. Ouisse, N. Atalla // *Smart Materials and Structures*. – 2018. – Vol. 4. – P. 105-129.

20. Langfeldt, F. An efficient analytical model for baffled panels / F. Langfeldt, W. Gleine, O. von Estorff // *Journal of Sound and Vibration*. – 2018. – Vol. 417. – P. 359-375.

*Статья поступила в редакцию 10.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 637. 072

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0012

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ЙОГУРТА, ОБОГАЩЕННОГО РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

© 2020

**Анистратова Оксана Вячеславовна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии продуктов питания

**Соклаков Владимир Владимирович**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии продуктов питания

*Калининградский государственный технический университет  
(236022, Россия, Калининград, Советский проспект, 1,  
e-mails: anistratova1981@mail.ru, vladimir.soklakov@klgtu.ru)*

**Аннотация.** Актуальность разработок, направленных на повышение качества выпускаемой пищевой продукции с целью обеспечения полноценного питания и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний различных групп населения, определена в общей направленности нормативно-правовых актов Российской Федерации. Рост потребления кисломолочных продуктов способствует расширению их ассортимента, в том числе и за счет введения в них различных комбинированных наполнителей, содержащих биологически активные вещества. В результате сравнительной оценки качественных показателей опытных образцов установлено преимущество йогурта, в состав которого введен бинарный наполнитель, бинарный наполнитель из зеленой микроводоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris*) и цукатов имбиря (*Zingiber sp.*). Все образцы по оцениваемым органолептическим, физико-химическим, микробиологическим показателям соответствовали установленным требованиям нормативно-технической документации. Обогащенный йогурт отличался необычной вкусовой композицией, большим содержанием белка (4,03 %) в сравнении с контрольным (3,59 %). Исследование структурно-реологических параметров показало обогащенный растительными компонентами йогурт обладает более вязкой консистенцией, что необходимо учитывать в технологическом процессе его производства. Высокое содержание хлорофилла в разработанном йогурте позволяет удовлетворить более 40 % суточной потребности в данном веществе, исходя из установленных норм потребления. Проведенный комплекс исследований по разработке йогурта с бинарным наполнителем на основе хлореллы и имбиря будет способствовать расширению ассортимента данного вида молочной продукции.

**Ключевые слова:** йогурт, хлорелла, растительные компоненты, цукаты имбиря, бинарный наполнитель, показатели качества, структурно-реологические характеристики.

## RESEARCH ON QUALITY AND SAFETY INDICATORS OF YOGURT ENRICHED WITH PLANT COMPONENTS

© 2020

**Anistratova Oksana Vyacheslavovna**, candidate of technical science,  
associate professor of the Food Technology department

**Soklakov Vladimir Vladimirovich**, candidate of technical science,  
associate professor of the Food Technology department

*Kaliningrad State Technical University  
(236022, Russia, Kaliningrad, Sovetskiy avenue 1,  
e-mails: anistratova1981@mail.ru, vladimir.soklakov@klgtu.ru)*

**Abstract.** The relevance of developments aimed at improving the quality of manufactured food products in order to ensure proper nutrition and prevent alimentary-dependent diseases of various population groups is determined in a general direction of the Russian Federation normative legal acts. The consumption growth of fermented dairy products contributes to the expansion of their range, including by introducing various combined filling compounds containing biologically active substances. A comparative evaluation of quality indicators of various prototypes established the advantage of the yogurt, which includes a binary filling compound of green microalgae chlorella (*Chlorella vulgaris*) and candied ginger (*Zingiber sp.*). All samples were assessed for organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters and met the requirements of normative and technical documentation. The enriched yogurt had an unusual flavor composition, higher protein content (4.03 %) compared to the control one (3.59 %). The study of structural and rheological parameters showed that yogurt enriched with plant components has a more viscous consistency, which must be taken into account in the technological process of its production. The high content of chlorophyll in the developed yogurt allows to meet more than 40 % of the daily requirement for the substance, based on the established consumption standards. The complex research on the development of the yogurt with the binary filling compound based on chlorella and ginger will help to expand the range of this dairy products type.

**Keywords:** yogurt, chlorella, plant components, candied ginger, binary filling compound, quality characteristics, structure rheological characteristics.

**Введение.** Одним из основных приоритетных направлений развития пищевой промышленности, отраженных в нормативно-правовых актах Российской Федерации, является повышение качества выпускаемой пищевой продукции с целью обеспечения полноценного питания, профилактики заболеваний, увеличения продолжительности и повышения качества жизни населения [1].

Рост производства и мировое потребление кисломолочных продуктов выводит их на одно из первых мест на мировом пищевом рынке, что обусловлено их высокой пищевой ценностью, сбалансированным составом компонентов и высокой усвояемостью, как следствие снижающими вероятность возникновения многих алиментарных заболеваний [2 – 4].

Актуальным направлением проводимых на сегодня исследований является расширение ассортимента кисломолочной продукции за счет обогащения разрешенными для использования в пищевой промышленности функциональными пищевыми ингредиентами растительного и животного происхождения, в числе которых микроорганизмы и объекты аквакультуры [2 – 9].

Так, перспективным является внесение в рецептуры молочных продуктов наполнителей, состоящих из пряно-ароматических растений – источника биологически активных веществ-адаптогенов, и объектов аквакультуры из нативной и переработанной альго-массы, в частности – зеленых водорослей [10, 11].

Корень имбиря (*Zingiber sp.*) является источником эссенциальных веществ, в т. ч. – витаминов. В нем содержится высокое количество таких микро- и макроэлементов, как калий, магний, медь и марганец. В липидной фракции имбиря отмечается высокое содержание ненасыщенных жирных кислот, в частности – олеиновой и линоленовой (соответственно 39,9 и 22,6 % общего количества жирных кислот) [12].

Объекты водных биологических ресурсов, такие как *Arthrospira platensis*, *Arthrospira maxima*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella sorokiniana*, *Dunaliella salina*, представляют особый интерес в качестве важнейшихнутрицевитических продуктов и богатейших источников пищевых волокон, белков и полиненасыщенных жирных кислот растительного происхождения, витаминов, макро- и микроэлементов, антиоксидантов [13].

Зеленая микроводоросль хлорелла отличается высоким содержанием хлорофилла, уровень которого достигает 2,8 г в 100 г сухой биомассы. Хлорофилл – это зелёный пигмент растений, являющийся богатым источником витаминов, таких как витамины А, С, Е, К, бета-каротин, минеральных веществ, таких как магний, железо, калий, кальций, а также незаменимых жирных кислот и антиоксидантов [14].

В настоящее время растет количество публикаций на тему медико-биологических исследований по применению хлореллы (*Chlorella vulgaris*) в рационах питания, связанного с ее уникальными пищевыми свойствами и возможным влиянием на здоровье

человека и животных [14, 15].

**Целью** данной работы явилось исследование показателей качества и безопасности йогурта, обогащенного растительными компонентами – зелёной микроводорослью хлореллой и корнем имбиря.

Для проведения исследования была произведена партия йогурта резервуарным способом, впоследствии использованная для изготовления следующих опытных образцов: йогурта с зелёной микроводорослью хлореллой; йогурта, обогащенного хлореллой и цуккатами имбиря; в качестве контрольного образца рассматривался йогурт без наполнителей.

**Материалы и результаты исследований.** Для выработки партии йогуртов использовалось следующее сырье: молоко коровье сырое производства ООО «Залесский фермер»; молоко сухое обезжиренное производитель ООО «Компаньон Сити»; закваска прямого внесения торговой марки *Chr. Hansen*, Дания, содержащая в своем составе *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus bulgaricus*; порошок хлореллы торговой марки «ОРГТИУМ»; цуккаты имбиря производства Foodart.

Все используемое для проведения исследований сырье по показателям качества и безопасности соответствовало требованиям нормативно-технической документации:

- молоко коровье сырое - ГОСТ 31449, ТР ТС 033/2013;
- молоко сухое обезжиренное – ГОСТ 33629, ТР ТС 033/2013;
- закваска – ТР ТС 033/2013;
- порошок хлореллы – ТУ 9710-009-02487142, ТР ЕАЭС 040/2016;
- цуккаты имбиря – ТР ТС 021/2011.

Показатели качества и микробиологической безопасности исследуемых образцов йогуртов определяли стандартными методами в соответствии с ГОСТ 26809.1, ГОСТ Р ИСО 22935-3, ГОСТ 23327, ГОСТ 31976, ГОСТ 5867, ГОСТ Р 54667, ГОСТ Р 54668, ГОСТ 33566, ГОСТ 30347, ГОСТ 33951, ГОСТ 31659, ГОСТ 32901. Влагодерживающую способность сгустка йогурта определяли методом центрифугирования по количеству выделившейся сыворотки в течение 30 минут на центрифуге марки *NOVA SAFETY* при установленной частоте вращения устройства 1100 мин<sup>-1</sup>, декантируя сыворотку в градуированную пробирку через каждые 5 минут на протяжении всего времени испытаний. Влагодерживающая способность полученного сгустка йогурта рассчитывалась по формуле [16]:

$$WRC = \frac{(1 - W_1)}{W_2}$$

где  $W_1$  – масса сыворотки после центрифугирования;

$W_2$  – масса навески продукта.

Реологические характеристики испытуемых образцов йогуртов определяли при помощи ротационного вискозиметра *Брукфильда DV-II + Pro* с использованием шпинделя *RV/HA/HB-3* [20].

Органолептический анализ исследуемых образцов йогурта проводился в соответствии с цифровой дискретной интервальной шкалой, отображающей оценочные баллы в соответствии с отклонением показателей продукта от установленных нормативных значений [17].

На первом этапе исследований с использованием метода нелинейных решений в компьютерной программе Excel была спроектирована и разработана рецептура обогащенных йогуртов (табл.1) [18].

Таблица 1 – Рецептура образцов йогуртов (без учета потерь по операциям)

Ингредиент	Исследуемые образцы		
	Контрольный	Йогурт с хлореллой	Йогурт с хлореллой и имбирем
Молоко нормализованное	99,8	98,3	90,0
Молоко сухое обезжиренное	0,2	0,2	0,2
Закваска прямого внесения	0,01	0,01	0,01
Хлорелла (порошок)	-	1,5	1,5
Имбирь (цукаты)	-	-	8,3
Итого, кг	100,0	100,0	100,0

Внешний вид всех испытуемых партий йогуртов соответствовал установленным требованиям и по данному показателю они были оценены на 5 баллов. Продукты обладали однородной консистенцией; зелёный цвет был обусловлен введением порошка хлореллы. В структуре образца йогурта с бинарным растительным наполнителем отмечались включения кусочков цукатов. При оценке вкуса образцов дегустаторами большую оценку получил йогурт, в рецептуре которого присутствовал бинарный наполнитель – имбирь и порошок зеленой водоросли хлореллы (4,9 балла) (рис. 1). Однако отмечено, что йогурт, в состав которого в качестве наполнителя включен только порошок хлореллы, будет также востребован потребителями, исключаящими из своего рациона сахар и ведущими здоровый образ жизни.

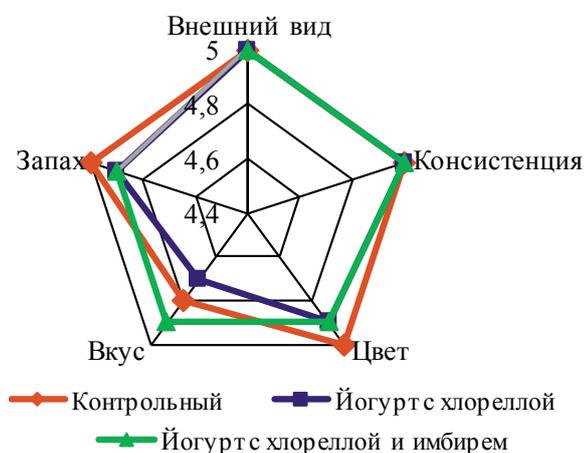


Рисунок 1 – Сводная таблица альтернатив

При исследовании физико-химических показателей образцов йогурта установлено, что все образцы по нормируемым показателям соответствуют требованиям ГОСТ 31981. В образцах с добавлением порошка зеленой микроводоросли отмечено большее содержание белка (4,03 %) в сравнении с контрольным образцом (3,59 %) (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-химические показатели образцов йогурта

Исследуемые образцы	Содержание, %				Кислотность, °Т	ВУС, %
	жира	СОМО	сахарозы	белка		
Контрольный	2,3±0,4	11,1±0,3	-	3,59±0,07	92±3,3	57,5±0,4
Йогурт с хлореллой	2,3±0,4	12,4±0,3	-	4,03±0,07	106±3,3	57,5±0,4
Йогурт с хлореллой и имбирем	2,3±0,4	13,0±0,3	5,6±0,5	4,03±0,07	101±3,3	52,5±0,2

Влагоудерживающая способность (ВУС) полученного стустка кисломолочного продукта зависит от концентрации в исходном сырье сухих веществ, состава используемых бактериальных заквасок, режимов тепловой обработки и гомогенизации сырья, способа коагуляции молока, состава и физико-химических свойств входящих в состав рецептуры йогурта ингредиентов.

В результате исследований было определено количество сыворотки, отделяемой от стустков образцов в процессе центрифугирования, что в дальнейшем позволило расчетным путем установить значение показателя ВУС.

Установлено, что меньший объем сыворотки в процессе центрифугирования выделился в контрольном образце и образце йогурта с порошком хлореллы. Соответственно, для данных образцов отмечен лучший показатель влагоудерживающей способности по сравнению с образцом йогурта с бинарным наполнителем.

Данные различия в исследованных показателях образцов можно объяснить тем, что в свежеработанных образцах йогурта содержащиеся в цукатах пищевые волокна не начали проявлять свои гидроколлоидные свойства. Дальнейшие изменения ВУС необходимо рассматривать в течение холодильного хранения продуктов.

Одним из важнейших показателей качества йогурта является его консистенция, а также ее устойчивость в процессе хранения. По мнению исследователей, кисломолочные продукты относятся к аномально вязким (псевдопластичным) жидкостям. До скоростей

сдвига  $300 \text{ с}^{-1}$  они имеют ярко выраженную аномалию вязкости, однако при более высоких скоростях обла- дают свойствами ньютоновских жидкостей [19].

В ходе проведенных исследований были установ-

лены реологические характеристики исследуемых образцов йогурта, а именно – изменение эффективной вязкости исследуемых кисломолочных продуктов в зависимости от градиента скорости сдвига (рис. 2) [20].

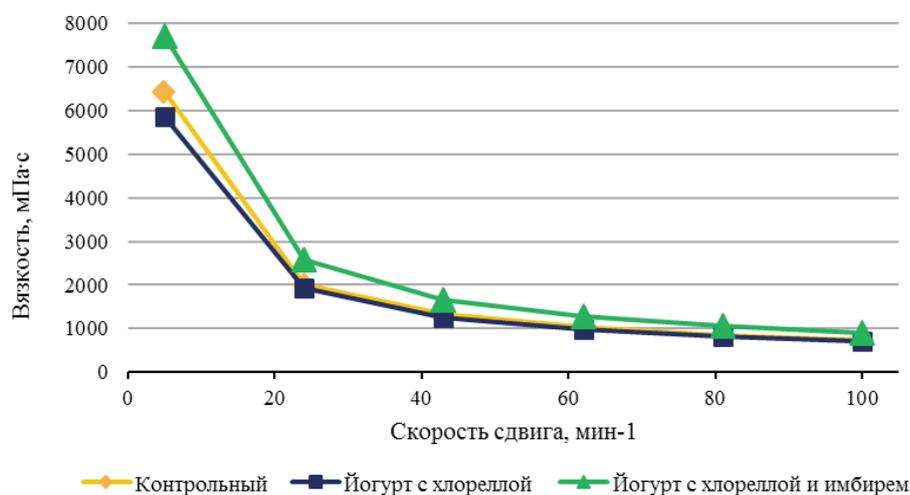


Рисунок 2 – Динамика изменения эффективной вязкости йогурта в зависимости от градиента скорости сдвига (температура продукта  $6 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

Внесение бинарного обогатителя способствует повышению вязкости йогуртов в сравнение с контрольным. Таким образом, проведенные исследования характеризуют структурно-реологические свойства йогурта с рассматриваемым наполнителем, которые должны быть учтены в производственном процессе.

Микробиологические исследования не выявили различий между опытными и контрольными образцами, поскольку все произведенные партии йогуртов соответствовали требованиям ТР ТС 033/2013 и являлись благополучными по санитарно-эпидемиологическим показателям (табл. 3).

Таблица 3 – Микробиологические показатели образцов йогурта

Исследуемые образцы	Показатели и нормируемые уровни по [21]							
	Молочнокислые микроорганизмы, КОЕ/см <sup>3</sup> (г), не менее $1 \cdot 10^7$	БГКП (колиформы)	Патогенные, в т. ч. сальмонеллы и L. monocytogenes			S. aureus	Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup> (г), не более 50	Плесени, КОЕ/см <sup>3</sup> (г), не более 50
			0,01	25	1,0			
Контрольный	$2,5 \cdot 10^8$	Отсутств.	Отсутств.	Отсутств.	Отсутств.	<50	<50	
Йогурт с хлореллой	$2,5 \cdot 10^7$	Отсутств.	Отсутств.	Отсутств.	Отсутств.	<50	<50	
Йогурт с хлореллой и имбирем	$2,5 \cdot 10^7$	Отсутств.	Отсутств.	Отсутств.	Отсутств.	<50	<50	

Поскольку в качестве одного из компонентов наполнителя для йогурта использовался порошок хлореллы, которая отличается высоким содержанием зеленого пигмента хлорофилла, то, с учетом опубликованных по ее химическому составу данных и исходя из рецептурного состава, был произведен расчет содержания хлорофилла в готовом кисломолочном продукте (табл. 4).

Таблица 4 – Микробиологические показатели образцов йогурта

Содержание хлорофилла, г в 100 г порошка хлореллы	Содержание хлорофилла, мг в 100г йогурта обогащенного	Доля от адекватного уровня потребления, % [22]	Доля от верхнего допустимого уровня потребления, % [22]
2,8	42	42	14

Оценка показала, что исследуемые образцы йогуртов с добавлением хлореллы отличаются высоким содержанием хлорофилла, исходя из данных адекватного и верхнего допустимого уровня потребления, и могут быть отнесены к функциональным продуктам.

**Заключение.** Таким образом, по результатам экспериментальных исследований установлено, что используемый бинарный наполнитель из зеленой микроводоросли хлореллы и имбиря позволяет получить безопасный кисломолочный продукт стандартного качества с оригинальным вкусом, отличающийся большим содержанием белка и хлорофилла и обладающий более вязкой консистенцией, что, несомненно, позволит расширить рынок производимых сбалансированных кисломолочных продуктов для различных категорий потребителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. О стратегии повышения качества пищевой продукции

в РФ до 2030 г.: Распоряжение Правительства РФ от 29 июня 2016 № 1364-р. // Правительство РФ: [сайт]. – URL: <http://government.ru/docs/23604/> (дата обращения 13.04.2019).

2. Курнакова, О. Л. Разработка и оценка потребительских свойств обогащенных йогуртов с использованием растительных ингредиентов: дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук: 05.18.04 / Курнакова Олеся Леонидовна; Гос. унив. – учебн.-научн.-произв. комплекс. – Орел, 2015. – 225 с.

3. Решетник, Е. И. Влияние функционально-технологических свойств зернового компонента на качественные показатели творожного продукта / Е. И. Решетник, В. А. Максимюк, Е. А. Уточкина // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 4. – С. 74 – 77.

4. Пасько, О. В. Разработка научно обоснованных технологий функциональных продуктов питания на основе молочного и растительного сырья / О. В. Пасько, Н. Б. Гаврилова // Фундаментальные исследования. – 2005, № 1. – С. 55 – 56.

5. Microbiological, functional and rheological properties of low fat yogurt supplemented with *Pleurotus ostreatus* aqueous extract / A. C. Pelaez Vital, P. A. Goto, L. N. Hanai, S. M. Gomes-da-Costa // LWT-Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 64, No. 2. – P. 1028 – 1035.

6. Muniandy, P. Influence of green, white and black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage / P. Muniandy, A. B. Shorib, A. S. Baba // Food Packaging and Shelf Life. – 2016. – Vol. 8. – P. 1 – 8.

7. Improving characteristics of goat milk yogurt drink fortified by mangosteen rind (*Garcinia mangostana* Lin.) extract / J. M. W. Wibawanti, Rinawidiastuti, H. D. Arifin, Zulfanita // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 102. – P. 012018.

8. Ahmad, N. Evaluation of antioxidant activity and its association with plant development in *Silybum marianum* L. / N. Ahmad, B. Haider Abbasi, H. Fazal // Industrial Crops and Products. – 2013. – Vol. 49. – P. 164 – 168.

9. Albassam, A. A. Effect of milk thistle (*Silybum marianum*) and its main flavonolignans on CYP2C8 enzyme activity in human liver microsomes / A. A. Albassam, R. F. Frye, J. S. Markowitz // Chemico-Biological Interactions. – 2017. – Vol. 271. – P. 24 – 29.

10. Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage / M. Barkallah, M. Dammak, I. Louati, F. Hentati // LWT-Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 84. – P. 323 – 330.

11. Макарова, Е. И. Прикладные аспекты применения микроводорослей / Е. И. Макарова, И. П. Отурина, А. И. Сидякин // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – Вып. 20. – С. 120 – 133.

12. Ключникова, Д. В. Нетрадиционное сырьё в технологии кисломолочного напитка / Д. В. Ключникова, Л. Р. Замазанова // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: матер. Междунар. научн.-практ. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: Изд-во ВГУИТ, 2015. – С. 430 – 433.

13. Анистратова, О. В. Разработка рецептуры йогурта, обогащенного растительными компонентами / О. В. Анистратова, В. Г. Оникенко, Н. М. Гаплевская // VII Балтийский морской форум: Инновации в технологии продуктов здорового питания: междунар. научн. конф.: сб. науч. тр. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2018. – С. 8 – 13.

14. Использование кормового комплекса «Альгалат» при выращивании цыплят-бройлеров: отчёт о НИР (заключительный) / ФНЦ «ВНИТИП» РАН. – Сергиев Посад, 2016. – 15 с.

15. Туманова, А. Л. Применение пищевого концентрата «Живая хлорелла»: методические рекомендации / А.Л. Туманова. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 32 с.

16. O'Sullivan, A. M. Seaweed extracts as potential functional ingredients in yogurt / A. M. O'Sullivan, M. N. O'Grady, Y. C. Callaghan, T. J. Smyth, N. M. O'Brien, J. P. Kerry // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2016. – Vol. 37. – P. 293 – 299.

17. Белякова, Т. Н. Исследование влияния водного экстракта сульфурана на показатели качества ферментированного продукта / Т. Н. Белякова, Л. А. Забодалова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2019. – № 3. – С. 52 – 61.

18. Лисин, П. А. Матричный метод рецептурных расчетов молочных продуктов / П. А. Лисин, Г. Ф. Вальтер, М. С. Есипова // Молочная промышленность. – 2016. – № 11. – С. 48 – 49.

19. Косой, В. Д. Реология молочных продуктов / В. Д. Косой, Н. И. Дунченко, М. Ю. Меркулов. – М.: ДеЛи принт, 2010. – 826 с.

20. Крупенникова, В. Е. Определение динамической вязкости на ротационном вискозиметре Brookfield RVDVII+Pro / В. Е. Крупенникова, В. Д. Раднаева, Б. Б. Танганов. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2011. – 48 с.

21. О безопасности молока и молочной продукции: технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 033/2013) // Техэксперт: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499050562> (дата обращения 13.04.2019).

22. МР 2.3.1.1915-04 Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 46 с.

*Статья поступила в редакцию 27.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 664.68:664.292(0.45)

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0013

**ВЛИЯНИЕ ПЕКТИНА БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ НА КАЧЕСТВО СДОБНОГО ПЕЧЕНЬЯ**

© 2020

**Школьникова Марина Николаевна**, доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры технологий питания

**Ялунина Екатерина Николаевна**, доктор экономических наук, профессор,  
профессор кафедры конкурентного права и антимонопольного регулирования

*Уральский государственный экономический университет*

*(620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62*

*e-mails: shkolnikova.m.n@mail.ru, yalunina.1979@mail.ru)*

**Аннотация.** Печенье сдобное отличают привлекательный внешний вид, приятные вкус и аромат, нежная пористая структура, хорошая усвояемость и высокая пищевая ценность. Однако, состав такого печенья нельзя назвать сбалансированным по основным пищевым веществам в виду высокого содержания жиров и углеводов, что обуславливает высокую калорийность данного вида печенья и недлительные сроки хранения (от 15 до 45 сут. в зависимости от содержания жира) с высыханием изделий. Одним из важнейших направлений повышения эффективности производства в сложившихся условиях является более широкое вовлечение в переработку местных сырьевых ресурсов, в частности плодово-ягодных. При оценке влияния пектина из брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea L.*), на качество и сохраняемость сдобного печенья установлено, что внесение 3 % измельченного пектина значительно улучшает вкус печенья. В эксперименте доказано, что добавление пектина увеличивает срок хранения сдобного печенья до 35 сут. Данный факт свидетельствует о перспективности использования пектина из местного плодово-ягодного сырья в рецептурах сдобного печенья, что обеспечит увеличение срока его хранения, так как пектин обладает хорошей водопоглощительной способностью и удерживает свободную воду в продуктах.

**Ключевые слова:** мучные кондитерские изделия, совершенствование ассортимента, местное плодово-ягодное сырье, брусника обыкновенная, химический состав, пектин, печенье сдобное, показатели качества, срок хранения, водопоглощительная способность.

**INFLUENCE OF CRANBERRY PECTIN ON THE QUALITY OF PASTRY**

© 2020

**Shkolnikova Marina Nikolaevna**, doctor of Technical Sciences, associate professor,  
professor Department of «Food Technologies»

**Yalunina Ekaterina Nikolaevna**, doctor of Economic Sciences, professor, professor Department  
of «Competition Law and Antitrust Regulation»

*Ural State University of Economics*

*(620144, Russia, g. Ekaterinburg, March 8/ Narodnaya Volya st., d 62/45,*

*e-mails: shkolnikova.m.n@mail.ru, yalunina.1979@mail.ru)*

**Abstract.** Butter cookies are distinguished by their attractive appearance, pleasant taste and aroma, delicate porous structure, good digestibility and high nutritional value. However, the composition of such cookies can not be called balanced by the main food substances in view of the high content of fat and carbohydrates, which causes a high calorific value of this type of cookie and a short shelf life (from 15 to 45 days, depending on the fat content) with the drying of products. One of the most important ways to improve production efficiency in the current conditions is to involve more local raw materials, in particular fruit and berry resources, in processing. When evaluating the effect of pectin from *Vaccinium vitis-idaea L.* on the quality and preservation of pastry, it was found that the introduction of 3% of crushed pectin significantly improves the taste of cookies. The experiment proved that the addition of pectin increases the shelf life of pastry up to 35 days. This fact indicates the prospects of using pectin from local fruit and berry raw materials in the recipes of pastry, which will ensure an increase in its shelf life, since pectin has a good water absorption capacity and retains free water in products.

**Keywords:** flour confectionery products, improvement of the assortment, local fruit and berry raw materials, common cranberries, chemical composition, pectin, pastry, quality indicators, shelf life, water absorption capacity.

**Введение.** Мучные кондитерские изделия (МКИ) в целом являются привычными продуктами ежедневного пищевого рациона, на их долю приходится порядка половины рынка кондитерских изделий. Наиболее популярным видом МКИ является печенье, производство которого в виду устойчивого спроса, высоких вкусовых характеристик, ценовой доступности (в среднем 150 руб./кг), удобства потребления,

длительных сроков хранения и сложившихся традиций, имеет устойчивую тенденцию к росту (порядка 6 % в год). МКИ напрямую не представлены в продовольственной корзине, однако известно, что средний уровень потребления кондитерских изделий в РФ составляет от 21 до 23 кг в год на одного человека и примерно половина от этого количества приходится на печенье [1]. Изделия из песочного теста, в частности

печенье сдобное, отличаются привлекательный внешний вид, приятные вкус и аромат, нежная пористая структура, хорошая усвояемость и высокая пищевая ценность. Однако, состав такого печенья нельзя назвать сбалансированным по основным пищевым веществам в виду высокого содержания жиров и углеводов, что обуславливает высокую калорийность данного вида печенья и недлительные сроки хранения (от 15 до 45 сут. в зависимости от содержания жира) с высыханием изделий [2–4], и незначительного – незаменимых макро- и микронутриентов, в том числе витаминов, белков, пищевых волокон и др.

Ассортимент печенья сдобного в настоящее время довольно широкий и постоянно расширяется. В связи с этим, к перспективным направлениям совершенствования ассортимента сдобного печенья можно отнести: снижение калорийности путем замены сахара-песка на низкоэнергетические компоненты [5, 6]; замена пшеничной муки безглютеновой [7–11]; повышение физиологической ценности за счет добавления в рецептуры функциональных пищевых ингредиентов из растительного сырья, в том числе местного и нетрадиционного, способствующих также и увеличению срока годности, и др. [12–14]. Так, по данным исследований, почти половина опрошенных потребителей согласна на приобретение МКИ, в составе которых есть те или иные ФПИ, обуславливающие соответствующую функциональную направленность печенья [15]. А быстрое высыхание изделий может быть задержано за счет упаковки, ввода в рецептуру влагоудерживающего сырья и добавок с инвертирующими свойствами, к которым относится пектин, функциональные и технологические свойства которого изучены [16–18], в частности в производстве МКИ [19, 20].

Одно из современных направлений повышения эффективности производства – более широкое вовлечение в переработку местных плодово-ягодных ресурсов. Так, широко распространенной в Сибири является брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.). Многочисленные опубликованные данные российских и зарубежных ученых по химическому составу ягод брусники обыкновенной и их свойствам обобщены в обзоре [21].

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является изучение влияния пектина из брусники обыкновенной на качество и сохраняемость сдобного печенья.

**Материалы и методы исследования.** Объектами исследования являлись: образцы печенья сдобного традиционной рецептуры по [22]: опытные – с внесением пектина брусничного в количестве 3 %, 4 % и 5 % от массы всех ингредиентов рецептуры по [19, 20], контрольный – без добавления пектина. Пектин получен традиционным способом из выжимок брусники обыкновенной, его качество и безопасность исследованы ранее [23, 24]. Для внесения в тесто пектин измельчен в кофемолке *Bosch MKM 6000* до порошкообразного состояния (рис. 1).

Образцы печенья получены выпечкой в духовом шкафу при  $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 25 мин. (рис. 2).



Рисунок 1 – Внешний вид измельченного пектина из брусники обыкновенной



Образец № 1  
(контрольный)

Образец № 2  
(3 % пектина)

Образец № 3  
(4 % пектина)

Образец № 4  
(5 % пектина)

Рисунок 2 – Внешний вид свежее испеченных образцов печенья сдобного

Показатели качества образцов печенья сдобного свежее испеченного и в течение срока хранения на соответствие требованиям ГОСТ 24901-2014 определяли стандартными методами по ГОСТ 5897-90, ГОСТ 10114-80, ГОСТ 5898-87, ГОСТ 5900-73.

**Результаты и их обсуждение.** Органолептическую оценку образцов осуществляли по ГОСТ 5897-90, используя 30-тибалльную шкалу по [25] (табл. 1). Как видно из таблицы 1, все образцы печенья имеют правильную круглую форму с ровными краями, обладают прекрасными вкусовыми качествами, выраженным запахом, пористые, без пустот и без посторонних включений, частицы ингредиента хорошо распределены в массе. Однако, наилучшим по органолептическим свойствам является образец сдобного печенья с содержанием пектина 3%, у которого среди опытных образцов наиболее привлекательный цвет, свойственный сдобному печенью.

Таблица 1 – Органолептические показатели свежееиспеченных образцов сдобного печенья

Образец / Сумма баллов	Форма	Вкус и запах	Цвет	Поверхность	Вид в изломе
Требования ГОСТ 24901-2014	Разнообразная, не расплывчатая, без вмятин, вздутий и поврежденный края	Выраженные, свойственные вкусу и запаху компонентов, входящих в рецептуру печенья, без посторонних привкуса и запаха	Равномерный, от светло-соломенного до темно-коричневого с учетом используемого сырья	Гладкая или шероховатая. Для печенья, изготовленного с применением фруктового сырья, поверхность шероховатая с вкраплениями частиц используемых компонентов	Пропеченное печенье с пористой структурой, без пустот и следов непромеса. Допускается неравномерная пористость с наличием небольших пустот
№ 1 / 28*	Правильная круглая форма, без повреждений углов и краев, края ровные	Вкус – свойственный сдобному печенью, маслянистый, сливочный, в меру сладкий без посторонних привкусов; запах – выраженный сдобный	Равномерный, желтовато-коричневый	Шероховатая, имеются следы от кристаллов сахара	Равномерно - пористая без пустот и следов непромеса, без посторонних включений
№ 2 / 29*		Вкус – свойственный сдобному печенью, маслянистый, сливочный, в меру сладкий без посторонних привкусов, присутствует кислинка и плодовые тона; запах – выраженный сдобный	Равномерный, желтовато-коричневый с точечными вкраплениями цвета порошка пектина	Шероховатая, имеются следы от порошка пектина	Равномерно - пористая без пустот и следов непромеса, частицы ингредиента хорошо распределены в массе, без посторонних включений
№ 3 / 25*	Равномерный, светло-коричневый, темный для данного вида сдобного печенья за счет ингредиента				
№ 4 / 24*	Равномерный, коричневый, темный для данного вида сдобного печенья за счет ингредиента				

\*средний балл по оценкам трех дегустаторов

Из физико-химических показателей ГОСТ 24901-2014 регламентирует массовую долю влаги, щелочность, намокаемость, значения которых определены в эксперименте (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-химические показатели свежееиспеченных образцов печенья

Образец	Массовая доля влаги, %	Щелочность, град.	Намокаемость, %
Требования ГОСТ 24901-14	Не более 15	Не более 2	Не менее 110
№ 1	3,0±0,1	0,08±0,01	152,4±0,2
№ 2	3,4±0,1	0,06±0,01	151,1±0,3
№ 3	3,6±0,1	0,06±0,01	150,6±0,3
№ 4	4,0±0,1	0,04±0,01	122,0±0,5

Из данных таблицы 2 видно, что образцы печенья сдобного соответствуют требованиям ГОСТ 24901-14. При этом, влажность свежееиспеченных образцов печенья с увеличением количества пектина возрастает, что можно объяснить составом и строением макромолекулы пектина обладающими гидрофильными свойствами полисахарида пектина, вследствие этого снижаются намокаемость и щелочность опытных образцов [18, 26].

Таким образом, на основании комплексной оценки органолептических и физико-химических показателей установили оптимальное количество вносимого пектина из брусники обыкновенной в рецептуру сдобного печенья – 3 % (образец № 2).

Основным требованием при гигиенической оценке пищевых продуктов является отсутствие в них патогенных микроорганизмов или токсических мета-

болитов. В целях защиты здоровья населения создана система мер, в рамках которой регламентируются требования к микробиологическим показателям пищевых продуктов и факторам, влияющим на них [27]. На сегодня контролируются 4 группы микроорганизмов – КМАФАнМ, дрожжи, плесени и БГКП (колиформы), которые в свежееиспеченных образцах печенья не обнаружены.

В соответствии с поставленной целью работы для установления влияния пектина из брусники обыкновенной на качество и сохранемость сдобного печенья, образцы печенья сдобного № 1 (контрольный) и № 2 (опытный с внесением 3 % пектина) в герметичной потребительской таре (полиэтиленовый пакет) подвергались хранению при температуре (18±3°) С, ОВВ не более 75 %, без прямого воздействия солнечных лучей в течение 35 сут. Результаты определения показателей качества образцов печенья представлены в таблицах 3 и 4.

Как видно из таблицы 3, образец печенья № 1 (контрольный) непригоден к употреблению спустя 30 сут., так как в нем присутствуют посторонние, неприятные привкусы и запахи (прогорклости), печенье зачерствело, так как произошла десорбция влаги, что, в свою очередь, привело к крошливости. Опытный образец № 2 (с внесением 3 % пектина) показал более высокую стойкость в хранении, лишь слегка утратил интенсивность вкуса. В ходе экспериментального хранения установлено, что образец печенья с добавлением пектина не черствеет более длительное время, а именно – 35 сут.

Таблица 3 – Органолептические показатели образцов сдобного печенья по истечению срока хранения

Образец / Сумма баллов	Форма	Вкус и запах	Цвет	Поверхность	Вид в изломе
№ 1/ 12	Правильная круглая, с небольшими повреждениями углов и краев	Вкус – свойственный сдобному печенью, присутствуют посторонние, неприятные привкусы и запахи (прогорклости)	Равномерный, желтовато-коричневый, блеклый	Шероховатая, имеются следы от кристаллов сахара	Неравномерная пористость с наличием пустот
№ 2/ 27	Правильная круглая форма, без повреждений углов и краев, края ровные	Вкус – свойственный сдобному печенью, присутствуют плодовые тона с кислинкой; запах – сдобный	Равномерный, желтовато-коричневый с точечными вкраплениями цвета порошка пектина	Шероховатая, имеются следы от порошка пектина	Равномерно - пористая без пустот и следов непромеса, частицы ингредиента хорошо распределены в массе

\*средний балл по оценкам трех дегустаторов

Данный факт можно объяснить тем, что белок пшеничной муки, взаимодействуя с пектином образует белково-полисахаридный комплекс, устойчивый гель, что влияет на биологические, коллоидные и микробиологические процессы, укрепляется клейковина.

Из данных таблицы 4 видно, что в течение срока хранения массовая доля влаги, щелочность и намокаемость контрольного и опытного образцов печенья снижается, оставаясь в регламентированных ГОСТ 24901-14 пределах.

Таблица 4 – Физико-химические показатели образцов сдобного печенья в процессе хранения

Образец	Продолжительность хранения, сут.	Показатель		
		Массовая доля влаги, %	Щелочность, град.	Намокаемость, %
№ 1	Свежеиспеченное	3,0±0,1	0,08±0,01	152,4±0,2
	15	2,2±0,1	0,06±0,01	117,0±0,2
	30	0,8±0,1	0,06±0,01	93,2±0,03
№ 2	Свежеиспеченное	3,4±0,1	0,06±0,01	151,1±0,03
	15	2,6±0,1	0,02±0,01	118,0±0,02
	35	1,6±0,1	0,02±0,01	110,8±0,04

**Заключение.** По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что включение в рецептуру сдобного печенья пектина из брусники обыкновенной, позволяет улучшить его вкус, увеличить срок хранения и сбалансировать микронутриентный состав сдобного печенья. Так, в эксперименте доказано, что благодаря свойствам пектина, срок годности сдобного печенья увеличился до 35 сут., что хорошо согласуется с литературными данными [28]. Таким образом, применение пектина из плодово-ягодного сырья является перспективным направлением не только в повышении физиологической ценности МКИ, но и в увеличении срока их годности, так как пектин обладает хорошей водопоглощательной способностью, удерживает свободную воду в продуктах, поэтому при добавлении в МКИ увеличивает срок их годности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Потребительская корзина на 2016–2021 год. Информационный портал РФ – [Электронный ресурс]. URL: <http://>

[infoportalrf.ru/potrebitel'skaya-korzina-na-2016-god.html](http://infoportalrf.ru/potrebitel'skaya-korzina-na-2016-god.html) (дата обращения 13.04.2019).

2. Кондратьев, Н.Б. Прогнозирование сроков годности кондитерских изделий / Н.Б. Кондратьев // Конди-терское и хлебопекарное производство. – 2014. – № 5. – С. 33–36.

3. Зубченко, А.В. Технология кондитерского производства: учебное пособие. – Воронеж: Воронеж. Гос. Техн. академия, 1999. – 432 с.

4. Кондратьев, Н.Б. Причины порчи кондитерских изделий / Н.Б. Кондратьев // Хлебопродукты. – 2012. – № 8. – С. 54–55.

5. Рушиц, А.А. Исследование потребительских свойств песочного печенья с сахарозаменителем / А.А. Рушиц // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевая и биотехнологии». – 2015. – Т. 3. – № 1. – С. 45–50.

6. Рензьева, Т.В. Моделирование рецептур печенья функционального назначения / Т.В. Рензьева, А.Д. Мермен // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 1. – С. 1–6.

7. Чугунова, О.В. Исследование биологической ценности нетрадиционных видов муки / О.В. Чугунова, Н.В. Лейберова, Е.В. Крюкова // Кондитерское производство. – 2016. – № 1. – С. 20–22.

8. Чугунова, О.В. Технологические аспекты разработки безглютеновых мучных кондитерских изделий // О.В. Чугунова, Н.В. Лейберова, Е.В. Пастушкова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. – С. 186–192.

9. Патент РФ 2466541 МПК А 21 D13/08 Способ производства безглютенового сахарного печенья «Веселые звездочки» / Чугунова О.В., Лейберова Н.В. (г. Екатеринбург, Россия) – заявл. 20.06.2011; опубл. 15.11.2012. – Бюл. № 32.

10. Рензьева, Т.В. Разработка рецептуры и технологии безглютенового печенья на основе природного растительного сырья / Т.В. Рензьева, А.С. Тубольцева, С.И. Артюшина // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 4. – С. 87–91.

11. Барсукова, Н.В. Пищевая инженерия: технологии безглютеновых мучных изделий / Н.В. Барсукова, Д.А. Решетников, В.Н. Красильников // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2011. – № 1. – С. 51–60.

12. Типсина, Н.Н. Использование порошка голубики в мучных кондитерских изделиях / Н.Н. Типсина, Д.В. Штефен // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 11. – С. 5–9.

13. Типсина, Н.Н. Разработка рецептур мучных изделий с использованием плодов шиповника / Н.Н. Типсина, В.В. Матюшев, Н.И. Селиванов, Н.И. Чепелев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1. – С. 5–8.

14. Величко, Н.А. Выжимки голубики обыкновенной как ингредиент мучных кондитерских изделий / Н.А. Величко, З.Н. Берикашвили // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4. – С. 4–7.
15. Резниченко, И.Ю. Формирование ассортимента мучных кондитерских изделий функциональной направленности / И.Ю. Резниченко и др. // Food Processing: Techniques and Technology. – 2017. – Vol. 45, № 2. – С. 149–162.
16. Типсина, Н.Н. Место пектина в функциональном питании // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2009. – № 3. – С. 3–4.
17. Аверьянова, Е.В. Изучение свойств пектина, полученного из вторичных сырьевых ресурсов ягодного сырья Алтайского края / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьникова, И.В. Чаплыгина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 12. – С. 118–127.
18. Корячкина, С.Я. Функциональные пищевые ингредиенты и добавки для хлебобулочных и кондитерских изделий / С.Я. Корячкина, Т.В. Матвеева. – СПб.: ГИОРД, 2013. – 528 с.
19. Губаненко, Г.А. Разработка и оценка качества дрожжевого кекса с пектином древесной зелени сосны обыкновенной // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 7. – С. 38–41.
20. Пушкарева, Е.А. Технологические аспекты применения пектина древесной зелени сосны обыкновенной в производстве мучных кондитерских изделий / Е.А. Пушкарева, Г.А. Губаненко, Е.А. Речкина, Т.А. Балябина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 24–29.
21. Лютикова, М.Н. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы / М.Н. Лютикова, Э.Х. Ботиров // Химия растительного сырья. – 2015. – № 2. – С. 5–27. DOI: 10.14258/jcrpm.201502429.
22. Рецептуры печенья – М.: Изд-во МТ РСФСР, 1988. – 247 с.
23. Школьникова, М.Н. Пектин как функциональный пищевой ингредиент в составе зефира / М.Н. Школьникова, Е.В. Аверьянова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 35–44. DOI: 10.14529/food170105.
24. Shkolnikova, Marina N. About the Use of Pectin from Wild Berries Pomace in the Marmalade Recipes / Marina N. Shkolnikova // Индустрия питания / Food Industry. – 2019. – Vol. 4, No. 1. – С. 81–86. DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-1-9
25. Позняковский, В.М. Мучные кондитерские изделия: учебное пособие / В.М. Позняковский, И.Ю. Резниченко // Кемерово, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 1999. – 53 с.
26. Магомедов, Г. О. Исследование структурообразования желённых масс на основе агара и пектина / Г.О. Магомедов, А.А. Журавлев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 5. – С. 29–32.
27. Красникова, Л.В. Микробиологическая безопасность пищевого сырья и готовой продукции // Л.В. Красникова, П.И. Гунькова: Учебно-методическое пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 91 с.
28. Гамова, А.Н. Кондитерские изделия с длительным сроком хранения / А.Н. Гамова // Пищевая промышленность. – 2016. – № 7. – С. 27–28.

*Статья поступила в редакцию 30.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 664.664

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0014

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА РОСТ И РАЗМНОЖЕНИЕ  
SACCHAROMYCES CEREVISIAE ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА**

© 2020

**Шершнёва Наталья Сергеевна**, магистрант

Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

Института биомедицинских систем и биотехнологий

**Севастьянова Анна Дмитриевна**, ассистент

Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

Института биомедицинских систем и биотехнологий

**Белокурова Елена Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент

Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

Института биомедицинских систем и биотехнологий

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,*

*e-mails: shershneva96@inbox.ru, anna-julija@rambler.ru, belokurova\_es@spbsru.ru)*

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность производства хлеба из пшеничной муки профилактического назначения с использованием плодоовощных добавок. При введении в тесто пектин содержащих веществ важным является изучение их влияния на рост и размножение *Saccharomyces cerevisiae*, так как продукты метаболизма дрожжей влияют на органолептические и физико-химические показатели качества готового хлеба. Результаты исследований показали, что из предложенного овощного сырья для введения в пшеничное тесто лучшим ингредиентом оказалась свёкла. Введение свеклы оказало положительное влияние на приготовление теста из пшеничной муки и на показатели качества готового хлеба: образец с добавкой свёклы имел привлекательный внешний вид. По физико-химическим показателям отвечал требованиям ГОСТ Р 58233. В 100 г хлеба с добавкой свёклы содержание пектина составляет 190 мг, что позволит рекомендовать его в качестве продукта профилактического назначения, так как профилактическая норма пектина, утвержденная ВОЗ, составляет 2-4 г в сутки.

**Ключевые слова:** продукты профилактического назначения, рациональные нормы потребления, хлеб из пшеничной муки, пектин, овощные добавки, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, микробиологические показатели качества дрожжей, активная кислотность, органолептические и физико-химические показатели качества хлеба.

**THE EFFECT OF PECTIN SUPPLEMENTATION ON THE GROWTH AND  
REPRODUCTION SACCHAROMYCES CEREVISIAE IN BREAD PRODUCTION**

© 2020

**Shershneva Natalya Sergeevna**, undergraduate,

Graduate School of Biotechnology and Food Production Institute of Biomedical Systems and Biotechnology

**Sevastyanova Anna Dmitrievna**, assistant

Graduate School of Biotechnology and Food Production Institute of Biomedical Systems and Biotechnology

**Belokurova Elena Sergeevna**, candidate of technical sciences, associate professor

Graduate School of Biotechnology and Food Production Institute of Biomedical Systems and Biotechnology

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University ,*

*(195251, Russia, St. Petersburg Politekhnikeskaya St., 29,*

*e-mails: shershneva96@inbox.ru, anna-julija@rambler.ru, belokurova\_es@spbsru.ru)*

**Abstract.** The article considers the possibility of producing bread from wheat flour for prophylactic purposes using vegetable additives. It is important to study effect pectin on the growth and reproduction of *Saccharomyces cerevisiae*, when pectin containing substances is introduced into the dough, because yeast metabolism products affect the organoleptic and physico-chemical quality indicators of the finished bread. The research results showed that beets were the best ingredient from the proposed vegetable raw materials for incorporation into wheat dough. The introduction of beets had a positive effect on the preparation of dough from wheat flour and on the quality indicators of the finished bread: the sample with the addition of beets had an attractive appearance. According to physico-chemical indicators, it met the requirements of GOST R 58233. 100 g of bread with the addition of beets, the pectin content is 190 mg, which will allow it to be recommended as a prophylactic product, because the prophylactic norm of pectin, approved by the WHO, is 2-4 g per day.

**Keywords:** preventive products, rational consumption standards, wheat flour bread, pectin, vegetable additives, *Saccharomyces cerevisiae* yeast, microbiological indicators of yeast quality, active acidity, organoleptic and physico-chemical indicators of bread quality.

**Введение.** В XXI веке развитие пищевой промышленности Российской Федерации, как и других развитых стран мира, направлено на повышение качества, пищевой и биологической ценности готовых пищевых продуктов. В комплексе санитарно-гигиенических мероприятий по оздоровлению населения нашей страны большое значение имеет профилактическое питание. Разработанный Министерством здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. Приказ № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» направлен на профилактику неинфекционных заболеваний и состояний, обусловленных недостатком микронутриентов, и укрепление здоровья детского и взрослого населения [1]. В системе этих мер очень важным является обеспечение населения продуктами функционального назначения. Такие продукты содержат функциональные добавки, обеспечивающие до 30 % суточной потребности человека в определённом макро- и микронутриенте [2].

В аграрном секторе нашей страны большую долю занимает овощеводство. Овощи растут в разных климатических зонах, многие из них обладают хорошей транспортабельностью, лёжкостью, что немаловажно, урожай овощей у нас является сезонным, собирается только один раз в году, овощи необходимо сохранять как минимум до урожая следующего года. Немаловажное значение имеет их невысокая цена. Поэтому расширение использования овощей в производстве различных пищевых продуктов имеет большое значение [3].

Большинство овощей содержат пектин. Пектиновые вещества по своей химической структуре являются гетерополисахаридами, главной структурной единицей которых является *D*-галактуроновая кислота (83-90%). Кроме галактуроновой кислоты в меньших количествах в составе пектиновых веществ присутствуют также *D*-галактоза, *L*-арабиноза, *L*-рамноза и другие нейтральные моносахариды [4].

Пектиновые вещества играют важную роль в питании человека, так как доказано их противоязвенное, антиоксидантное, радиозащитное и иммуномодулирующее действие на организм. Кроме того, пектины улучшают моторику желудочно-кишечного тракта, нормализуют обмен веществ, снижают содержание холестерина в крови [5]. Большие исследования по изучению химического состава пектиновых веществ, по получению модифицированных пектинов и по изучению влияния пектинов на организм человека проводится в Японии [6,7]. Там разработаны методики по получению пектиновых веществ с определённым набором свойств и запатентовано использование метоксилированного яблочного пектина для лечения раковых заболеваний [8,9].

В нашей стране также проводятся подобные исследования по более глубокому изучению физико-химических свойств пектиновых веществ, получению пектинов из нетрадиционных источников сырья и

расширению практического применения пектинов в медицине, биологии и пищевой промышленности. При этом отмечается, что химическая модификация пектинов является перспективным направлением [10].

На современном этапе развития пищевой промышленности России пектин используется в качестве добавки в начинки мучных кондитерских изделий, молочные продукты, напитки. Самое большое применение пектин нашёл в кондитерской промышленности для изготовления желе, пастилы, зефира, мармелада, различных фруктовых начинок, где он применяется в качестве загустителя. В то же время рассматриваемые добавки нашли ограниченное применение в мучных кондитерских изделиях при изготовлении дрожжевого теста и в хлебопечении [11].

Хлеб и хлебобулочные изделия в нашей стране очень популярны и пользуются большим спросом у большинства населения. Это объясняется низкой ценой, доступностью хлеба и хлебобулочных изделий. По данным статистических исследований жители нашей страны потребляют в пищу хлеб в количествах, превышающих рекомендуемые рациональные нормы, поэтому одним из важнейших направлений развития хлебопекарной промышленности России является повышение полезности хлеба [11]. В соответствии с поправками, разработанными Роспотребнадзором, больницы, школы и организации соцобслуживания должны использовать обогащенные витаминами и минеральными веществами хлеб и хлебобулочные изделия, доля такой продукции должна составлять 50 % [12].

Таким образом, производство хлеба и хлебобулочных изделий профилактического и функционального назначения – одно из важных направлений в расширении ассортимента хлеба [13].

Над расширением ассортимента хлебобулочных изделий с использованием обогащающих добавок и над увеличением сроков хранения готовых хлебобулочных изделий работают многие исследователи [14].

На сегодняшний день актуальным является выполнение научных исследований, направленных на создание новых рецептур и технологии хлебобулочных изделий профилактического назначения, в частности, с добавлением пектин содержащих добавок. В связи с тем, что при изготовлении дрожжевого хлеба большую роль играют биохимические процессы, протекающие при деятельности дрожжей, то при использовании любых обогащающих добавок необходимо не только разработать рецептуры, но и исследовать их влияние на функционально-технологические свойства хлебопекарных дрожжей и показатели качества готовых хлебобулочных изделий [15].

На крупных и мелких хлебопекарных предприятиях Российской Федерации при производстве хлебобулочных изделий из пшеничной сортовой муки применяют в основном биомассу дрожжевых клеток *S.cerevisiae*, содержащих биологически активные вещества и обладающих ферментативной активностью, способные сбраживать различные моно- и дисахариды

[16]. Дрожжи – это одноклеточные микроорганизмы, относящиеся к классу сумчатых грибов-аскомицетов. Они бывают округлой или слегка овальной формы, размер дрожжевой клетки составляет 6-12 мкм. Отечественная промышленность выпускает жидкие, прессованные и сухие дрожжи [17].

Для интенсификации процесса тестоприготовления необходимо сократить начальный этап приспособления дрожжевых клеток к питательной среде и увеличить скорость роста и размножения дрожжей [18].

**Цель данного исследования:** определить влияние различных пектинсодержащих плодовоовощных добавок, используемых при приготовлении теста, на рост и размножение дрожжей и на качественные показатели готовых хлебобулочных изделий.

Объекты исследования: дрожжи хлебопекарные *S.cerevisiae* и готовые хлебобулочные изделия, обогащённые пектинсодержащими добавками.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводили в 2 этапа: в лабораторных и полупроизводственных условиях. На лабораторной стадии исследования были разработаны рецептуры, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура хлеба с добавками

№	Наименование сырья и полуфабриката	Расход сырья и п/ф на 1 порцию, г	
		Брутто, г	Нетто, г
1	Вода питьевая	300	300
2	Дрожжи сушёные	5	5
3	Мука пшеничная	500	500
4	Соль пищевая	6	6
5	Тыква свежая	11	7
6	Яблоко	11	7
7	Морковь	11	7
8	Свекла свежая	11	7

Дрожжевое тесто готовили безопарным способом. Все плодовоовощные добавки вводили в муку в растёртом на мелкой терке виде. Хлеб изготавливали с применением сушёных дрожжей. Микробиологические и физико-химические показатели качества дрожжей исследовали классическими методами [15,16].

При исследовании влияния пектиновых добавок на рост и размножение дрожжей замеряли прирост биомассы выращенных дрожжей и определяли количество почкующихся дрожжевых клеток. Прирост биомассы определяли по разнице между массой внесённых дрожжей и массой выращенных в лабораторных условиях дрожжей в суспензии, содержащей пектины из разного сырья. Микроскопирование проводили в препарате «раздавленная капля» при увеличении микроскопа х400. Кроме этого, замеряли уровень рН исследуемой суспензии, так как этот показатель наравне с температурой, оказывает влияние на жизнедеятельность дрожжей. Выращивались все образцы при одинаковой температуре, а вот кислотность всех приготовленных суспензий была различной из-за вносимых добавок [17].

Готовые хлебобулочные изделия исследовали стандартными методами в соответствии с требованиями

ГОСТ 31805.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Результаты органолептического анализа. Внешний вид полуфабрикатов из теста с добавкой плодовоовощного сырья представлен на рисунке 1



А)



Б)

Рисунок 1 – Полуфабрикаты из пшеничного теста с добавкой плодовоовощного сырья  
А) тыква (сверху), свёкла (снизу);  
Б) яблоко (сверху), морковь (снизу)

Далее из приготовленного теста выпекался хлеб и исследовался по органолептическим показателям. Дегустационная комиссия в количестве 9 дегустаторов оценивала образцы по таким показателям как внешний вид, консистенция, цвет, запах и вкус. Каждый показатель имел максимальную оценку в 5 баллов.

У всех образцов консистенция была равномерной, мягкой, внешний вид был правильной формы, без трещин, изломов и закала. Только контрольный образец (без добавок) достиг наивысшей оценки по показателям вкуса и аромата. Образцы с добавкой свёклы и тыквы показали результаты в 4 балла по показателям: цвет и вкус. У образца с добавкой моркови был отмечен ярко-выраженный вкус моркови, который не всем дегустаторам понравился, так как этот привкус не характерен для хлеба. У образца с добавлением яблока был отмечен слишком бледный цвет, не привлекающий внимания потребителя.

Результаты дегустационной оценки представлены на рисунке 2.

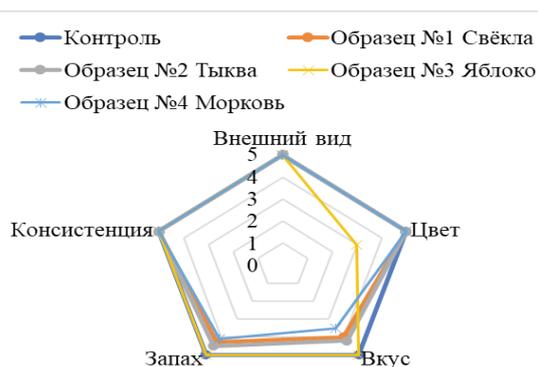


Рисунок 2 – Средняя бальная оценка органолептических показателей образцов хлеба с плодовоовощными добавками

Органолептические исследования показали, что хлеб из пшеничной муки с плодовоовощными добавками уступает по своим органолептическим показателям образцу без добавок.

В хлебопечении при формировании функционально-технологических свойств теста большая роль отводится дрожжам. Поэтому в нашей работе было отдельно проведено исследование влияния используемых добавок на жизнедеятельность хлебопекарных дрожжей, исследовались микробиологические показатели качества.

Результаты микроскопирования по определению почкующихся дрожжевых клеток представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество почкующихся дрожжевых клеток

Наименование показателей	Исследуемые образцы				
	Контроль (без добавок)	Яблоко	Тыква	Свёкла	Морковь
Количество почкующихся клеток, %	92,6±0,3	75,0±0,3	66, ±0,3	83,1±0,3	65,1±0,3

Прирост биомассы дрожжевых клеток при выращивании их в суспензии, содержащей пектины различного сырья, представлен на рисунке 3.

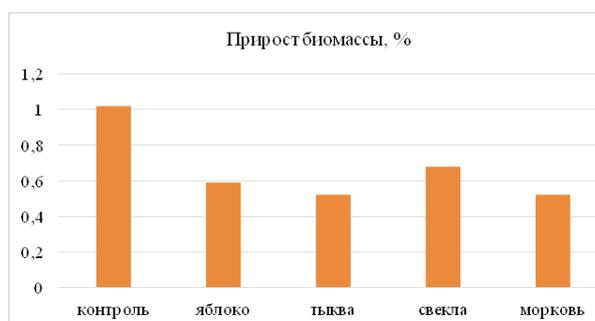


Рисунок 3 – Прирост биомассы *S.cerevisiae* в суспензиях с добавлением пектин содержащих веществ

Анализ таблицы 2 и рисунка 3 показывает, что любое введение плодовоовощных добавок в хлеб снижает скорость размножения дрожжей. Это можно объяснить тем фактом, что несмотря на то, что по

своей химической природе пектины относятся к углеводам, они являются кислыми полисахаридами клеточной стенки растений, ферменты дрожжей не могут вызвать их деградацию и разложить до усвояемых дрожжами сахаридов. Это замедляет процесс приготовления теста.

Нарост и размножение дрожжей влияют различные факторы внешней среды, такие как *pH* и температура. Поскольку в нашем случае процесс приготовления теста проходил при одинаковой температуре, то были произведены замеры активной кислотности среды.

*pH* суспензий, содержащих пектины из различного сырья, представлены на рисунке 4.

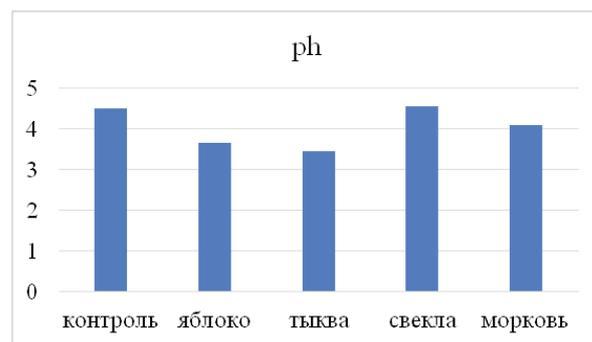


Рисунок 4 – *pH* суспензий, содержащих пектины из различного сырья

Анализ данных, представленных на рисунке 4 показывает, что в контрольном образце и в образце с добавкой свёклы активна кислотность была оптимальной для сахаромисетов от 4,0 до 5,0. В остальных образцах *pH* была ниже оптимальной, поэтому можно предположить, что кислая среда частично ингибировала рост и размножение дрожжей.

В таблице 3 приведены физико-химические показатели качества хлеба с добавлением пектин содержащего сырья.

Таблица 3 – Показатели качества пшеничного хлеба с добавлением пектин содержащего сырья

Наименование образца	Физико-химические показатели			
	Влажность, %	Кислотность, град	Массовая доля сахарозы в пересчете на сухое вещество, %	Содержание пектина, мг/100 г
Образец (контроль)	42,0±0,2	3,2±0,1	-	-
Образец (с яблоком)	34,0±0,2	2,5±0,1	8,40±0,10	123,0±2,0
Образец (с тыквой)	35,0±0,2	4,1±0,1	10,50±0,10	136,0±2,5
Образец (с свёклой)	34,0±0,2	2,4±0,1	10,45±0,15	190,0±2,5
Образец (с морковью)	34,0±0,2	2,5±0,1	9,50±0,15	118,0±2,0
Требования ГОСТ 31805	19-52	Не более 3,5	Регламентируется рецептурой	Не нормируется

Содержание сахарозы и пектина ГОСТ 31805 не нормируется. При введении овощей в готовых изделиях присутствует сахароза. Кроме того, изделия

обогащаются пектинами. В нашем случае наиболее обогащёнными пектинами оказались готовые изделия со свёклой и тыквой. В 100 г хлебулочного изделия с добавкой свёклы содержание пектина составляет 190 мг, а в изделиях с тыквой 136 мг.

По результатам первоначального этапа для дальнейших исследований была выбрана свёкла в качестве пектинсодержащей добавки. Приготовление теста из пшеничной муки с пектином в лабораторных условиях проводилось с использованием свежего плодовоовощного сырья (яблока, свёклы, моркови, тыквы), но впоследствии свежую свёклу заменили на высушенную, так как при изготовлении теста порошок из свёклы более удобен в использовании [18]. Также он имел следующие преимущества по сравнению со свежей свёклой: порошок лучше хранится и стабильнее по своим показателям качества. Немаловажным является факт доступности: на отечественном потребительском рынке порошок свёклы реализуется в торговых сетях.

Внешний вид формового пшеничного хлеба с добавкой свекольного порошка и изготовленного в полупроизводственных условиях представлены на рисунке 5.



А) внешний вид



Б) вид на разрезе

Рисунок 5 – Хлеб формовой пшеничный с добавлением свекольного порошка, изготовленный в полупроизводственных условиях

Хлеб формовой пшеничный с добавкой свекольного порошка по своим органолептическим показателям качества имел привлекательный внешний вид правильной формы, без трещин, изломов и закала, консистенция была равномерная, мягкая. По цвету образец был розово-коричневого цвета, по

всему мякишу наблюдались вкрапления розового цвета крупинки свекольного порошка, по вкусу – сладковатый, без посторонних привкусов и послевкусий. По физико-химическим показателям хлеб формовой пшеничный с добавкой свекольного порошка соответствовал требованиям ГОСТ 31805.

**Закключение.** Разработанные образцы хлеба с добавлением свекольного порошка имеют ряд преимуществ по сравнению с обычным пшеничным хлебом:

- они имеют привлекательный внешний вид из-за наличия природных пигментов, таких как антоцианы;
- содержат пектиновые вещества в количествах, позволяющих удовлетворять до 30 % суточной потребности человека в них. Главным свойством пектиновых веществ является комплексообразующая способность, которая основана на взаимодействии молекул пектина с ионами тяжелых металлов и радионуклидов. Вышесказанное дает основание рекомендовать пектин содержащие вещества для включения в рацион питания лиц, находящихся в среде, загрязненной радионуклидами, и имеющих контакт с тяжелыми металлами. Профилактическая норма пектина, утвержденная ВОЗ, составляет 2-4 г в сутки; для лиц, работающих в неблагоприятных условиях, составляет 8-10 г в сутки.

• предлагаемые изменения в рецептурах изменяют кислотность готовых изделий, что позволяет увеличить сроки хранения разработанных образцов.

Предлагаемые изделия могут без ограничения потребляться различными возрастными группами населения г. Санкт-Петербурга. Использование таких ингредиентов позволяет значительно расширить ассортимент хлеба из пшеничной муки и шире использовать сырьё отечественного производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tulaws.ru/acts/Prikaz-Minzdrava-Rossii-ot-19.08.2016-N-614/> <https://www.kommersant.ru/doc/3874370> (дата обращения: 01.04.2020).
2. Обоснование уровня обогащения пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами / В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, В.П. Спиричев, Л.Н. Шатнюк // Вопросы питания. – 2010. – Т. 79, № 1. – С. 23-33.
3. Белокурова Е.С., Борисова Л.М., Панкина И.А. Перспективные направления переработки овощного сырья Северо-Западного региона Materials of the X International scientific and practical conference, «Conduct of modern science». Chemistry and chemical technology. Construction and architecture. Agriculture. Sheffield. Science and education LTD. – 2014. – Volume 22. – С. 59-62.
4. Белокурова Е.С., Котников И.В., Бандура А.А. Исследование биологически-активных веществ тыквы, выращенной в условиях Северо-Западного региона В сборнике: Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых учёных, посвящённой году экологии в России. Составитель Н.А. Щербактова. – 2017. – С. 566-571.

5. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.
6. R. Semde, K. Amighi, and A. J. Moes, Epichlorhydrin crosslinked pectins for colonic drug delivery, in: Proc. Int/Free Controlled Release Mater., 25th, 806 (1998).
7. K. Murai, K. Kobayashi, K. Tazawa, H. Ogami, I. Yamashita, T. Shimizu, and M. Fujimaki, Jpn. Pat. No. 07-109226; Chem. Abstr., 123, 47902 (1995).
8. Mandai, M., Olson, D. J., Sharma, T., Vadlamudi, R. K. and Kumar, R. (2001) Butyric acid induces apoptosis by upregulating Bax expression via stimulation of the c-Jun N-terminal kinase/activation protein-1 pathway in human colon cancer cells, Gastroenterology, Vol.120, pp. 71-78.
9. Yamada, H. (1996) Contribution of pectins on health care, in J. Visser and A.G.J. Voragen (eds) Pectin and Pectinase, Progress in Biotechnology, Elsevier, Amsterdam., Vol. 4, pp. 173-190.
10. Novosel'skaya, I.L., Voropaeva, N.L., Semenova, L.N. et al. (2000) Trends in the science and applications of pectins. Chem Nat Comp., Vol. 36, pp. 1-10.
11. Статистическое исследование потребления хлеба [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskoe-issledovanie-potrebleniya-hleba-i-hlebobulochnyh-izdeliy-v-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 01.04.2020).
12. Батон с витамином // «Коммерсантъ» от 05.02.2019 [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kommer-sant.ru/doc/3874370> (дата обращения: 01.04.2020).
13. Пискунов С.В. Направления развития производства диетических хлебобулочных изделий. – СПб: ГИОРД, 2015. – №5.1. – С. 89-93.
14. Черникова Д.А., Панкина И.А. Использование инновационных технологий обработки сырья при производстве хлеба и хлебобулочных изделий. Сб. матер. VI МНПК «Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях» – 2019 (15 ноября). – Курск: Изд-во ЮЗГУ, 2019. – С. 222-227.
15. Ламберова, М.Э. Дрожжи: учебное пособие / М.Э. Ламберова; Алт. гос. техн. ун-т БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. – 95 с.
16. Меледина Т.В., Давыденко С.Г. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Морфология, химический состав, метаболизм: Учеб. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 88 с.
17. Белокурова Е.С., Севастьянова А.Д., Севастьянова Ю.Д. Исследование качества сухих дрожжей Материалы международной научно – практической конференции, посвященной 110-летию с дня рождения доктора ветеринарных наук, профессора Есюгина Александра Васильевича. Актуальные вопросы импортозамещения в сельском хозяйстве и ветеринарной медицине, 31 марта 2016 г. – Троицк: Южно-Уральский ГАУ, 2016. – С. 20-23.
18. Панкина И.А., Черникова Д.А. Хлебопекарные дрожжи: характеристика и изучение их физико-химических показателей. Сборник материалов междунар. науч.-практич. конференции «Проблемы конкурентоспособности потребительских товаров и продуктов питания» (12 апреля 2019 г.). – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2019 – С. 241-244.
19. Корячкина, С.Я. Методы исследования качества хлебобулочных изделий: учебно-методическое пособие для вузов / С.Я. Корячкина, Н.А. Березина, Е.В. Хмелева. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – 166 с.
20. Мармузова Л.В. Технология хлебопекарного производства. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

*Статья поступила в редакцию 27.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 664.9.022

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0015

## ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ НОЖА ДЛЯ РЕЗАНИЯ РЫБЫ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОГО ТРЕНИЯ

© 2020

**Агеев Олег Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Пищевые и холодильные машины»  
**Наумов Владимир Аркадьевич**, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Водные ресурсы и водопользование»  
**Фатыхов Юрий Адгамович**, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Пищевые и холодильные машины»  
*Калининградский государственный технический университет,  
(236022, Россия, Калининград, Советский проспект, 1,  
e-mails: oleg.ageev@klgtu.ru, van-old@rambler.ru, yuriy.fatyhov@klgtu.ru)*

**Аннотация.** Показана актуальность оптимизации профиля ножа для обеспечения ресурсосбережения при резании рыбы. Механическое поведение мышечной ткани сырья соответствует реологической модели Максвелла-Томсона и описывается дифференциальным уравнением Кельвина. При моделировании формы криволинейной фаски ножа использован многочлен третьей степени. Шероховатая поверхность граней приближенно представлена в виде периодической функции с одной гармоникой. На основе выражения для безразмерного контактного давления определена безразмерная деформационная сила трения. В результате численного решения оптимизационной задачи получены значения оптимального половинного угла заточки ножа, при котором обеспечиваются минимальные затраты энергии на деформационную составляющую трения при движении ножа в мышечной ткани рыбы. Установлены зависимости указанного оптимального угла от безразмерной скорости резания, угла сопряжения граней, безразмерной половинной толщины ножа и меры эластичности рыбы. Оптимальный угол существенно зависит от безразмерной половинной толщины ножа и угла сопряжения граней, а также немонотонно зависит от безразмерной скорости с явно выраженным минимумом. Показано, что при резании рыбы ножом с минимальным углом сопряжения граней оптимальный половинный угол заточки находится в диапазоне 23-27 градусов, что примерно на 3-5 градусов больше оптимального угла, определенного ранее по критерию минимальной силы сопротивления формы.

**Ключевые слова:** рыба, резание, сила, трение, оптимизация, профиль, нож, грань, реология, вязкоупругость

## THE APPROACH TO KNIFE PROFILE OPTIMIZATION FOR FISH CUTTING BY MINIMAL FRICTION CRITERIA

© 2020

**Ageev Oleg Viatcheslavovich**, candidate of technical sciences, associate professor,  
associate professor of the department of «Food and Refrigeration Machines»  
**Naumov Vladimir Arkadieievich**, doctor of technical sciences, professor,  
chairman of the department of «Water Resources and Water Management»  
**Fatykhov Yuriy Adgamovich**, doctor of technical sciences, professor,  
chairman of the department of «Food and Refrigeration Machines»  
*Kaliningrad State Technical University,  
(236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky prospect, 1,  
e-mails: oleg.ageev@klgtu.ru, van-old@rambler.ru, yuriy.fatyhov@klgtu.ru)*

**Abstract.** The relevance of the knife profile optimization to ensure resource saving during fish cutting has been shown. The mechanical behavior of the muscle tissue of the raw material corresponds to the Maxwell-Thomson rheological model and by the Kelvin differential equation is described. When modeling the shape of a knife curved facet, a third degree polynomial has been used. The rough surface of the facets has been approximately represented as a periodic function with one harmonic. Based on the expression for the dimensionless contact pressure, the dimensionless deformation friction force has been determined. As a result of a numerical solution of the optimization problem, the values of the optimal half angle of knife sharpening have been obtained, at which the minimum energy consumption for the deformation component of friction when the knife moves in the muscle tissue of the fish is provided. The dependences of the indicated optimum angle on the dimensionless cutting speed, the angle of mating of the edges, the dimensionless half thickness of the knife, and the measure of elasticity of the fish have been established. The optimal angle substantially depends on the dimensionless half thickness of the knife and the angle of conjugation of the edges, and also monotonously depends on the dimensionless speed with a pronounced minimum. It was determined that when cutting fish with a knife with a minimum mating angle of the edges, the optimal half sharpening angle is in the range of 25-28 degrees, which is about 3-5 degrees more than the half sharpening angle, optimal according to the criterion of the minimum shape resistance force.

**Keywords:** fish, cutting, force, friction, optimization, profile, knife, edge, rheology, viscoelasticity

**Введение.** При резании рыбы на рабочий орган действуют силы полезных и вредных сопротивлений. Силами вредных сопротивлений являются силы сопротивления формы ножа, а также деформационные силы трения. С целью обеспечения ресурсосбережения на производстве необходимо минимизировать силы трения, действующие на наклонную фаску ножа и его боковые грани. Одним из путей сокращения энергетических потерь на трение является оптимизация формы профиля режущего органа при его проектировании. Это предполагает наличие математических моделей процесса резания рыбы, позволяющих определить деформационные силы трения в зависимости от геометрии ножа, структурно-реологических свойств мышечной ткани, а также от скорости резания. В работе [1] на основе таких моделей поставлена и решена задача по определению оптимальной геометрии элементарного ножа, в результате чего рассчитаны параметры профилей наклонных граней режущего органа, при которых сила сопротивления формы минимизируется. Дальнейшим необходимым этапом является определение геометрии ножа, обеспечивающей минимальные потери на трение при резании рыбы.

Подходы к оптимизации профилей режущих органов активно разрабатываются отечественными и зарубежными исследователями. В статье [2] исследовано резание пищевых сред при больших скоростях и проанализированы реактивные силы сопротивления материала сжатию и изгибу. В работе [3] найдены зависимости затрат энергии и качества поверхности среза от угла заточки лезвия. В исследовании [4] разработан конечно-элементный подход к анализу

$$y(x) = \delta \cdot \left( \frac{tg\alpha}{\delta} \cdot x + \left( 3 - \frac{h_m}{\delta} \cdot (tg\theta + 2 \cdot tg\alpha) \right) \cdot \frac{x^2}{h_m^2} + \left( \frac{h_m}{\delta} \cdot (tg\theta + tg\alpha) - 2 \right) \cdot \frac{x^3}{h_m^3} \right) \quad (1)$$

где  $\delta$  – толщина ножа;  $h_m$  – высота передней наклонной грани;  $\alpha$  – угол заточки лезвия (угол наклона касательной к криволинейной грани ножа в его вершине);  $\theta$  – угол сопряжения криволинейной фаски с прямой боковой гранью;  $l$  – толщина материала в недеформированном состоянии.

На рисунке 1 показана элементарная деформационная сила трения, действующая в точке криволинейной передней грани ножа, а также ее составляющие. Вектор элементарной силы трения  $dF_2^y$  в некоторой точке  $A$  грани направлен по касательной к грани в рассматриваемой точке. Указанная элементарная сила является векторной суммой ее составляющих (проекций силы на оси прямоугольной системы координат):  $d\vec{F}_2^y = d\vec{F}_{2x}^y + d\vec{F}_{2y}^y$ . Тангенс угла наклона касательной  $\alpha_\tau$  в произвольной точке  $A$  грани  $OB$  равен значению производной функции, описывающей форму криволинейной грани:  $tg\alpha_\tau = y'(x)$ . Справедливы соотношения:  $dF_{2x}^y = dF_2^y \cdot \cos\alpha_\tau$ ;  $dF_{2y}^y = dF_2^y \cdot \sin\alpha_\tau$ .

В результате деформирования элементарного слоя вязкоупругого материала в точке  $A_s$  микронеровности шероховатой поверхности фаски (рис. 2) действует контактное давление  $\vec{\sigma}_7$ , причиной которого являются

процесса резания вязкоупругого пищевого материала и рассмотрены режущие органы с различной геометрией. В статьях [5, 6] рассмотрены режимы «скользящего» резания и найдены наилучшие углы заточки ножей, обеспечивающие снижение энергозатрат при обработке. Вместе с тем, принимая во внимание значимость известных работ, в пищевой отрасли требуется расчет наилучшей формы ножа, обеспечивающей снижение деформационных сил трения и экономию энергоресурсов.

**Целью** настоящей работы является аналитический расчет силы трения, возникающей при взаимодействии пищевого материала с криволинейными фасками лезвия, а также определение наиболее выгодного угла заточки ножа для резания рыбы, при котором снижаются потери на трение.

**Материалы и результаты исследования.** В работе [7] определен вид реологической модели и соответствующие ей реологические константы, описывающие механическое поведение рыбного сырья. Показано, что по результатам проведенных экспериментальных исследований возможно приближенно описать состояние деформируемого материала дифференциальным уравнением Кельвина [8].

Настоящая работа является дальнейшим продолжением работы [1] и основана на результатах работы [9], в которой получены математические модели, позволяющие определить деформационную составляющую силы трения. В работе [1], с учетом особенностей алгоритмов аппроксимации в интерполяторах станков с ЧПУ при изготовлении режущих органов, форму профиля ножа предложено описывать в виде рационального многочлена третьей степени:

внутреннее напряжение в мышечной ткани рыбы. Указанные механические напряжения действуют по нормальям к криволинейной поверхности неровности [10-12]. Вектор  $\vec{\sigma}_7$  является перпендикулярным к касательной, проведенной в точке  $A_s$  к поверхности микровыступа, форма профиля которого описывается периодической функцией  $f_1(s)$  с одной гармоникой [13, 14]. Вектор контактного усилия  $\vec{\sigma}_7$  представляет собой результат сложения двух векторов: нормального давления  $\vec{p}_7$  и тангенциального давления  $\vec{q}_7$ :  $\vec{\sigma}_7 = \vec{p}_7 + \vec{q}_7$ . В точке  $A_s$  вектор  $\vec{p}_7$  является проекцией вектора  $\vec{\sigma}_7$  на нормаль к линии скольжения материала по криволинейной фаске, а вектор  $\vec{q}_7$  является проекцией вектора  $\vec{\sigma}_7$  на линию, являющуюся касательной к фаске в указанной точке. Тангенциальное контактное усилие также разложим на две составляющие:  $\vec{q}_7 = \vec{q}_{7x} + \vec{q}_{7y}$ . Справедливы соотношения:  $q_{7x} = q_7 \cdot \cos\alpha_\tau$ ;  $q_{7y} = q_7 \cdot \sin\alpha_\tau$ .

Вредное сопротивление движению ножа в материале оказывает встречная сила  $dF_{2x}^y$ , которая является проекцией деформационной силы трения  $dF_2^y$  на ось  $Ox$ . Данную составляющую  $F_{2x}^y$  определим в следующем виде [9]:

$$F_{2x}^{\gamma} = \int_0^{l_{\gamma}} (f_1'(s) \cdot p_7(s, u) \cdot \cos \alpha_{\tau}) ds$$

где  $l_{\gamma}$  – длина грани  $OB$  по криволинейной оси координат  $Os$ ;  $u$  – скорость скольжения материала относительно грани  $OB$  по этой же оси.

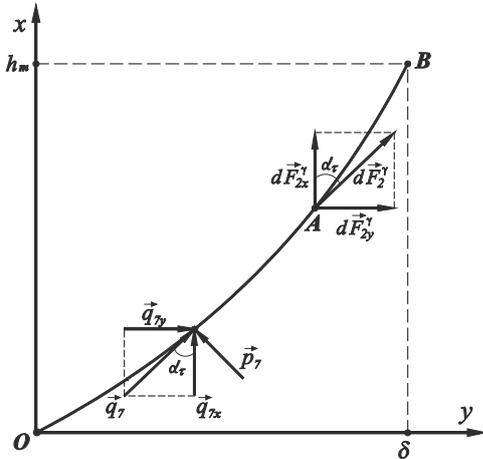


Рисунок 1 – Элементарная деформационная сила трения, действующая в точке криволинейной передней грани и ее составляющие

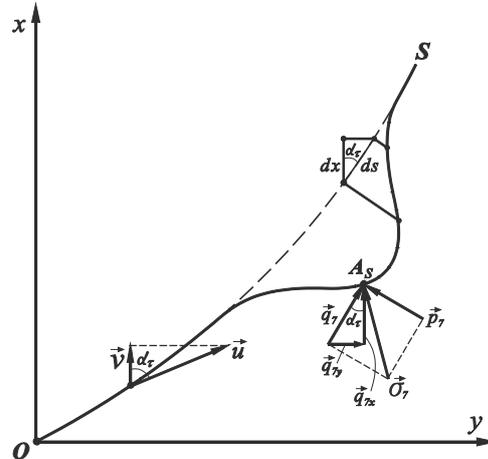


Рисунок 2 – Контактные усилия, действующие в точке микровыступа шероховатой поверхности криволинейной грани

В результате перехода от криволинейной оси координат  $Os$  к прямолинейной оси  $Ox$  имеем:  $f_1'(s) = j_1'(x)$ ;  $p_7(s, u) = m_7(x, v)$ ;  $ds = dx / \cos \alpha_{\tau}$ . Из (2) находим:

$$F_{2x}^{\gamma} = \int_0^{h_m} (j_1'(x) \cdot m_7(x, v) \cdot \cos \alpha_{\tau}) \frac{dx}{\cos \alpha_{\tau}} = \int_0^{h_m} (j_1'(x) \cdot m_7(x, v)) dx \quad (3)$$

Запишем выражение (3) в безразмерном виде:

$$\bar{F}_{2x}^{\gamma} = \int_0^1 (\bar{j}_1'(\bar{x}) \cdot \bar{m}_7(\bar{x}, \bar{v})) d\bar{x} \quad (4)$$

Выполним переход от криволинейной оси координат  $Os$  к прямолинейной оси  $Ox$  и определим проекцию  $\bar{F}_{2x}^{\gamma}$  безразмерной деформационной силы трения на ось  $Ox$ . Производная функции, описывающей форму профиля ножа, в безразмерном виде выглядит следующим образом:

$$\bar{y}'(\bar{x}) = g \alpha + 2 \cdot \zeta_2 \cdot \bar{x} + 3 \cdot \zeta_1 \cdot \bar{x}^2 \quad (5)$$

Выразим косинус угла  $\alpha_{\tau}$  наклона касательной к криволинейной грани ножа:

$$\cos \alpha_{\tau} = \frac{1}{\sqrt{1 + g^2 \alpha_{\tau}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\bar{y}'(\bar{x}))^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (g \alpha + 2 \cdot \zeta_2 \cdot \bar{x} + 3 \cdot \zeta_1 \cdot \bar{x}^2)^2}} \quad (6)$$

Связь криволинейной безразмерной координаты  $\bar{s}_A$  произвольной точки  $A$  грани безразмерной прямолинейной координаты  $\bar{x}_A$  этой же точки выглядит следующим образом:

$$\bar{s}_A = \int_0^{\bar{x}_A} \sqrt{1 + (\bar{y}'(\bar{x}))^2} d\bar{x} = \int_0^{\bar{x}_A} \sqrt{1 + (g \alpha + 2 \cdot \zeta_2 \cdot \bar{x} + 3 \cdot \zeta_1 \cdot \bar{x}^2)^2} d\bar{x} \quad (7)$$

Выразим безразмерную скорость скольжения материала  $\bar{u}$  по микронеровностям фаски ножа через фактическую  $v$  и безразмерную скорость ножа  $\bar{v}$ :

$$\begin{aligned} u &= \frac{v}{\cos \alpha_{\tau}} = v \cdot \sqrt{1 + (g \alpha + 2 \cdot \zeta_2 \cdot \bar{x} + 3 \cdot \zeta_1 \cdot \bar{x}^2)^2}; & u &= \bar{u} \cdot \frac{S_0 \cdot (E_0 + E_1)}{\eta}; & v &= \bar{v} \cdot \frac{h_m \cdot (E_0 + E_1)}{\eta}; \\ \bar{u} \cdot \frac{S_0 \cdot (E_0 + E_1)}{\eta} &= \bar{v} \cdot \frac{h_m \cdot (E_0 + E_1)}{\eta \cdot \cos \alpha_{\tau}}; & \bar{u} &= \frac{\bar{v}}{\cos \alpha_{\tau}} \cdot \frac{h_m}{S_0}; & \bar{u} &= \frac{\bar{v}}{\cos \alpha_{\tau}} \cdot \bar{h}_S; \\ \bar{u} &= \bar{v} \cdot \bar{h}_S \cdot \sqrt{1 + (g \alpha + 2 \cdot \zeta_2 \cdot \bar{x} + 3 \cdot \zeta_1 \cdot \bar{x}^2)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

где  $E_0$  – мгновенный модуль упругости мышечной ткани рыбы;  $E_1$  – модуль высокоэластичности;  $\eta$  – динамическая вязкость;  $E_0/E_1 = e_{01}$  – мера эластичности;  $\zeta_1 = \left( \frac{3 \cdot \delta}{h_x} - \frac{\delta}{h_x} - \frac{\delta}{h_x} - \frac{\delta}{h_x} \right)$ ;  $\zeta_2 = \left( \frac{3 \cdot \delta}{h_x} - \frac{\delta}{h_x} - \frac{\delta}{h_x} - \frac{\delta}{h_x} \right)$ .

Выражение для безразмерного контактного давления в точке микровыступа по результатам работы [9] запишем в виде:

$$\bar{p}_7(\bar{s}, \bar{u}) = \frac{J_1}{\bar{u}} \cdot \left\{ \bar{I}_1 \cdot \cos(2\pi \cdot \bar{s}) + \pi \cdot e_{01} \cdot \sin(2\pi \cdot \bar{s}) + \frac{0,5}{\bar{u}} + 2\pi^2 \cdot \bar{u} \cdot \left[ 1 + e_{01} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{s}}{\bar{u}}\right) \right] \right\} \quad (9)$$

$$\text{где } \bar{I}_1 = -\left(\frac{0,5}{\bar{u}} + 2\pi^2 \cdot \bar{u} \cdot (e_{01} + 1)\right); \quad J_1 = \frac{\bar{u}^2}{4\pi^2 \cdot \bar{u}^2 + 1}.$$

Форма микровыступа шероховатости описывается следующей безразмерной функцией [9, 13, 14]:

$$\bar{f}_1(\bar{s}) = \sin^2(\pi \cdot \bar{s}); \quad \bar{f}'_1(\bar{s}) = 2\pi \cdot \sin(\pi \cdot \bar{s}) \cdot \cos(\pi \cdot \bar{s}) \quad (10)$$

В результате определим искомую проекцию безразмерной деформационной силы трения на ось  $Ox$ :

$$\begin{aligned} \bar{F}_{2x}^y = \int_0^{\bar{l}_y} (\bar{f}'_1(\bar{s}) \cdot \bar{p}_7(\bar{s}, \bar{u}) \cdot \cos \alpha_r) d\bar{s} = \int_0^1 (\bar{f}'_1(\bar{x}) \cdot \bar{m}_7(\bar{x})) d\bar{x} = \int_0^1 2\pi \cdot \sin(\pi \cdot \bar{s}) \cdot \cos(\pi \cdot \bar{s}) \cdot \frac{J_1}{\bar{u}} \\ \times \left\{ \bar{I}_1 \cdot \cos(2\pi \cdot \bar{s}) + \pi \cdot e_{01} \cdot \sin(2\pi \cdot \bar{s}) + \frac{0,5}{\bar{u}} + 2\pi^2 \cdot \bar{u} \cdot \left[ 1 + e_{01} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{s}}{\bar{u}}\right) \right] \right\} d\bar{x} \end{aligned} \quad (11)$$

где безразмерная длина грани  $\bar{l}_y$ , криволинейная безразмерная координата  $\bar{s}$  и безразмерная скорость  $\bar{u}$  выражены через безразмерную координату  $\bar{x}$  и безразмерную скорость  $\bar{v}$  в соответствии с выражениями (7) и (8).

Предложенная математическая модель (11) позволяет численно рассчитать значения деформационной силы трения при различных величинах угла заточки режущего органа, его угла сопряжения, толщины лезвия, безразмерной скорости ножа и меры эластичности материала. Отметим, что в отличие от результатов работы [1], результат интегрирования выражения (11) не представляется в виде элементарных функций.

Определим значения оптимального половинного угла заточки ножа, с которым обеспечиваются минимальные затраты энергии на деформационную составляющую трения при движении ножа в мышечной ткани рыбы. При заданных значениях меры эластичности  $e_{01}$ , безразмерной скорости ножа  $\bar{v}$ , безразмерной толщины лезвия  $\bar{\delta}$  и угла сопряжения  $\theta$  представляется возможным определить наиболее выгодный угол заточки  $\alpha$ , при котором проекция деформационной силы трения на направление движения ножа минимизируется. С этой целью используем зависимость  $\bar{F}_{2x}^y(\alpha)$  как целевую функцию. Задача по определению оптимального угла заключается в нахождении такого решения  $\alpha = \alpha_{22}$ , которое доставляет указанной целевой функции глобальный минимум с учетом допустимой области значений  $\alpha$ , то есть  $\bar{F}_{2x}^y(\alpha) \rightarrow \min$ . Так как функция  $\bar{F}_{2x}^y(\alpha)$  является дважды дифференцируемой по  $\alpha$ , требуемое условие минимума  $d\bar{F}_{2x}^y(\alpha)/d\alpha = 0$  позволяет найти значение  $\alpha_{22}$ . Величины безразмерной координаты  $\bar{x}$

и безразмерной скорости  $\bar{v}$  входят в выражение (11) сложным образом, в результате чего аналитическое решение данной задачи представляется громоздким и неявным. В связи с этим, значения силы  $\bar{F}_{2x}^y(\alpha)$ , производной  $d\bar{F}_{2x}^y(\alpha)/d\alpha$ , а также значения  $\alpha_{22}$ , определяющие оптимальный половинный угол заточки ножа при различных параметрах, найдены численными методами на ЭВМ.

Результаты решения рассматриваемой задачи оптимизации изображены на нижеприведенных рисунках. На рисунке 3 приведены зависимости наиболее выгодного угла заточки от безразмерной скорости ножа при различных значениях угла сопряжения и безразмерной половинной толщины лезвия. На рисунках 4, 5 показаны зависимости наилучшего угла заточки от угла сопряжения и безразмерной половинной толщины ножа при различных значениях безразмерной скорости лезвия.

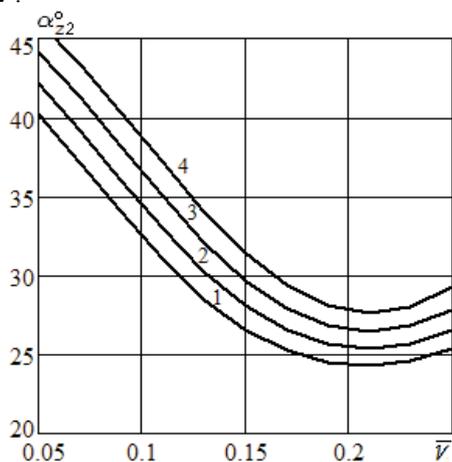
Наряду с вышеизложенным, численным методом рассчитана наиболее выгодная безразмерная половинная толщина ножа  $\bar{\delta}_{22}$ , при которой проекция деформационной силы трения на направление движения ножа также минимизируется при заданных значениях меры эластичности  $e_{01}$ , безразмерной скорости резания  $\bar{v}$ , безразмерной половинной толщины ножа  $\bar{\delta}$ , угла сопряжения  $\theta$  и угла заточки  $\alpha$ .

Рисунок 3 демонстрирует, что оптимальный половинный угол заточки ножа не монотонно зависит от скорости с явно выраженным минимумом. При увеличении угла сопряжения грани значения минимумов оптимального половинного угла заточки возрастают. С повышением безразмерной половинной толщины ножа указанные минимумы также увеличиваются.

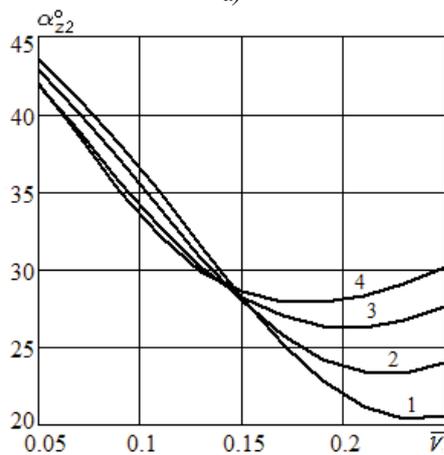
Согласно рисунку 3,а при значениях меры элас-

тичности 5, безразмерной половинной толщины ножа 0,7, угла сопряжения  $0^\circ$ ;  $5^\circ$ ;  $10^\circ$ ;  $15^\circ$  минимальные значения оптимального угла заточки ножа составляют  $24,3^\circ$ ;  $25,4^\circ$ ;  $26,5^\circ$ ;  $27,7^\circ$  соответственно и достигаются при значении безразмерной скорости 0,21.

В соответствии с рисунком 3,б при значениях меры эластичности 5, угла сопряжения  $5^\circ$ , безразмерной половинной толщины ножа 0,65; 0,67; 0,72; 0,80 минимальные значения оптимального угла заточки ножа составляют  $20,4^\circ$ ;  $23,3^\circ$ ;  $26,3^\circ$ ;  $27,9^\circ$  и достигаются при значениях безразмерной скорости 0,23; 0,22; 0,21; 0,18 соответственно. При заданном значении половинной толщины ножа равном 0,75 и минимальном угле сопряжения оптимальный половинный угол заточки согласно рисунку 3 находится в области  $23-27^\circ$ . Отметим, что согласно работе [1] диапазон наилучших углов, найденный по критерию минимальной силы сопротивления формы, составляет  $17-22^\circ$ .



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимость наилучшего угла заточки от безразмерной скорости ножа ( $e_{01}=5$ ):

а – при различных значениях угла сопряжения ( $\bar{\delta} = 0,70$ ):

1 –  $\theta=0^\circ$ ; 2 –  $\theta=5^\circ$ ; 3 –  $\theta=10^\circ$ ; 4 –  $\theta=15^\circ$ ;

б – при различных значениях безразмерной половинной толщины ножа ( $\theta=5^\circ$ ):

1 –  $\bar{\delta}=0,65$ ; 2 –  $\bar{\delta}=0,67$ ; 3 –  $\bar{\delta}=0,72$ ; 4 –  $\bar{\delta}=0,80$ .

Контурный график на рисунке 4 иллюстрирует, что при значении безразмерной скорости 0,2 оптимальный половинный угол заточки увеличивается с ростом угла сопряжения и снижением безразмерной половинной толщины ножа.

Рисунок 5 показывает, что при значениях безразмерной скорости менее 0,14 оптимальный половинный угол заточки снижается с ростом безразмерной половинной толщины.

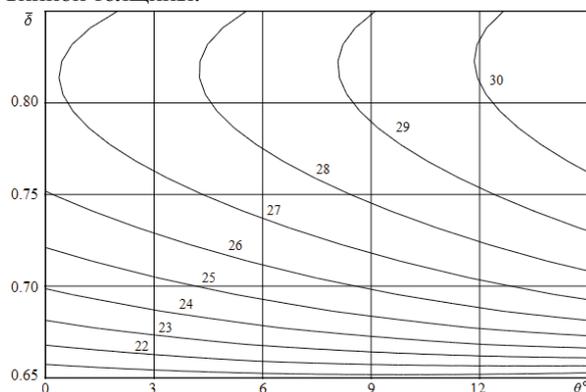


Рисунок 4 – Зависимость наилучшего угла заточки  $\alpha_{z2}$  от угла сопряжения и безразмерной половинной толщины ножа ( $\bar{v}=0,2$ ;  $e_{01}=5$ )

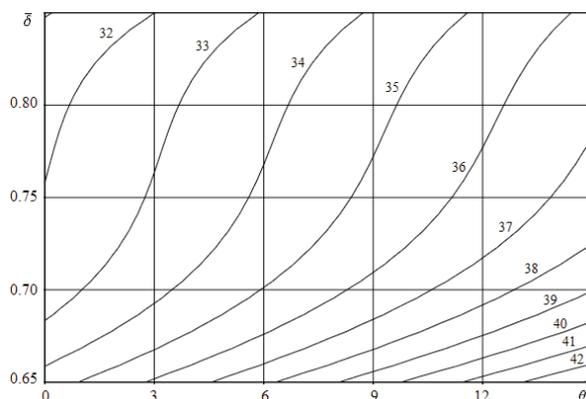


Рисунок 5 – Зависимость наилучшего угла заточки  $\alpha_{z2}$  от угла сопряжения и безразмерной половинной толщины ножа ( $\bar{v}=0,1$ ;  $e_{01}=5$ )

**Закключение.** Результаты численного моделирования позволяют сделать вывод, что оптимальный половинный угол заточки  $\alpha_{z2}$  примерно на  $3-5^\circ$  больше угла заточки  $\alpha_{z1}$ , определенного в работе [1] по критерию минимальной силы сопротивления формы. Это позволяет выбирать конструктивный угол заточки ножа, при котором одновременно минимизируются силы сопротивления формы и силы трения. В результате решения задач оптимизации представляется возможным задавать при конструировании такую форму профиля режущего органа, при которой существенно снижаются энергетические затраты на резание пищевых продуктов и улучшается качество поверхности среза. При обработке рыбы лезвием с малым углом сопряжения численные значения наиболее выгодных углов заточки расположены в

области 20-25°. Это соответствует результатам экспериментов по рубящему (нормальному) резанию мышечной ткани промысловых видов рыб. Отметим, что в случае скользящего резания фактические углы заточки существенно снижаются вследствие их геометрической и кинематической трансформации, в связи с чем существенно изменяются соответствующие оптимальные конструктивные углы.

Направлением дальнейших исследований является математическое моделирование сил полезных сопротивлений, определение наименьшей допустимой остроты лезвия и соответствующего ей оптимального угла заточки  $\alpha_{z3}$ , а также исследование зависимости качества поверхности среза от скорости обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ageev, O.V. Оптимизация формы профиля ножа для ресурсосберегающей первичной обработки рыбы / О.В. Ageev, Ю.А. Фатыхов, Е.Е. Иванова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 1 (373). – С. 77-80.
2. Schuldt S, Schneider Y, Rohm H. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces. *Journal of Food Engineering*, 2018, no. 230, pp. 55-62.
3. Spagnoli A, Brighenti R, Terzano M, Artoni F. Cutting resistance of soft materials: Effects of blade inclination and friction. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 200-206.
4. Pagani M, Perego U. Explicit dynamics simulation of blade cutting of thin elastoplastic shells using «directional» cohesive elements in solid-shell finite element models. *Computer methods in applied Mechanics and Engineering*, 2015, no. 285, pp. 515-541.
5. Atkins T. Prediction of sticking and sliding lengths on the rake faces of tools using cutting forces. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2015, no. 91, pp. 33-45.
6. Atkins T. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. *Engineering Fracture Mechanics*, 2006, no. 73, pp. 2523-2531.
7. Ageev, O.V. Анализ соответствия реологических моделей структурно-механическим свойствам рыбы / О.В. Ageev, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, Н.В. Самойлова // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2018. – № 2(36). – С. 34-43.
8. Ageev, O.V. Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы / О.В. Ageev, Ю.А. Фатыхов, Н.В. Самойлова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 49. – С. 75-91.
9. Ageev, O.V. Математическое моделирование силы трения ножа при резании пищевого материала / О.В. Ageev, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2019. – № 4(42). – С. 3-17.
10. Горячева, И. Г. Механика фрикционного взаимодействия / И. Г. Горячева. – Москва: Наука, 2001. – 478 с.
11. Солдагенков, И.А. Расчет трения индентора с фактальной шероховатостью о вязкоупругое основание / И.А. Солдагенков // Трение и износ. – 2015. – № 3. – Том 36. – С. 257-262.
12. Федоров, С.В. К исследованию совместимости трущихся поверхностей / С.В. Федоров // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – Т. 75. – № 5. – С. 283-288.
13. Григорьев, А.Я. Физика и микрогеометрия технических поверхностей / А.Я. Григорьев. – Минск: Беларуская навука, 2016. – 247 с.
14. Сутягин А.Н. К вопросу о формировании математической модели трехмерной регулярной шероховатости поверхности после токарной обработки на оптимальных скоростях резания. // *Современные материалы, техника и технологии*. – 2018. – № 3(18). – С. 29-34.
15. Boislly M, Schuldt S, Kaestner M.G, Schneider Y, Rohm H. Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 191, pp. 1-9.
16. Han P, Che D, Pallav K, Ehmann K. Models of the cutting edge geometry of medical needles with applications to needle design. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2012, no. 65, pp. 157-167.
17. Определение усилия со стороны ножа при резании с качением корнеклубнеплодов в измельчителе с горизонтальным вращающимся диском / П.А. Савиных [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2016. – № 3(23). – С. 62-75.
18. Popov V.L. Contact Mechanics and Friction. Physical Principles and Applications / V.L. Popov. – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2017. – 391 p.
19. Malkin, Ya.A. Rheology: conception, methods, and applications / Ya.A. Malkin, A.I. Isayev. – Toronto: ChemTec Publishing, 2012. – 510 p.
20. Belaasilia Y, Braikat B, Jamal M. High order mesh-free method for frictional contact. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2017, no. 82, pp. 68-78.
21. Belaasilia Y, Timesli A, Braikat B, Jamal M. A numerical mesh-free model for elasto-plastic contact problems. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2018, no. 94, pp. 103-112.
22. Jadav P.U., Amali R., Adetoro O.B. Analytical friction model for sliding bodies with coupled longitudinal and transverse vibration. *Tribology International*. 2018. no. 126. pp. 240-248.

*Статья поступила в редакцию 30.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 641.13

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0016

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕРЕМУХОВОЙ МУКИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕСТОВОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ БЛИНЧИКОВ

© 2020

**Смолянова Аля Павловна**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры «Пищевые производства»

**Волошина Марина Олеговна**, ассистент кафедры «Пищевые производства»

**Волшенкова Екатерина Сергеевна**, главный технолог ООО «Дело»,  
магистрант 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, ketti\_costa@mail.ru)*

**Аннотация.** В работе представлены возможные способы применения продуктов переработки черемухи (мука) для производства тестовой оболочки блинчиков, с целью расширения ассортимента мучных кулинарных изделий, а так же повышения функциональности готовых изделий и совершенствования процесса получения высококачественных продуктов. В качестве объекта исследования в статье рассматривается Блинчики-полуфабрикат (оболочка). Разработаны рецептуры тестовой оболочки блинчиков с частичной заменой пшеничной муки на черемуховую муку в количестве от 5 до 15%. Органолептическая оценка испытуемых образцов показала, что наилучшими показателями обладал образец 3 (10 % черемуховой муки). Замена 15% пшеничной муки на черемуховую муку, привела к некоторому ухудшению свойств блинчиков-полуфабрикатов. Результаты исследований показали целесообразность использования в рецептуре блинчиков муки черемуховой, которая способствует расширению производства и получению продукта высокого качества.

**Ключевые слова:** черемуховая мука, блинчики, безглютеновая мука, пищевая и энергетическая ценность, органолептические свойства, минеральные вещества, витамины.

## THE USE OF BIRD CHERRY IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF DOUGH SHELL FOR PANCAKES

© 2020

**Smolyanova Alya Pavlovna**, candidate of agricultural Sciences,  
associate Professor «Food production»

**Voloshina Marina Olegovna**, assistant the department «Food Production»

**Volshenkova Ekaterina Sergeevna**, main technologist LLC «Delo»,  
Undergraduate of the Department «Food Production»,

*Penza State Techno-logical University*

*(440039, Russia, Penza, travel Baydukov/Gagarin Street, 1A/11,*

*e-mails: Alyasmol@mail.ru, mari6ka\_o\_g@list.ru, ketti\_costa@mail.ru)*

**Annotation.** The paper presents possible ways to use the products of processing of bird cherry for the production of the test shell of pancakes, in order to expand the range of flour culinary products, as well as to improve the functionality of finished products and improve the process of obtaining high-quality products. As an object of research, The article considers pancakes-a semi-finished product (shell). Recipes for the test shell of pancakes with a partial replacement of wheat flour with cherry flour in an amount of 5 to 15% have been developed. The organoleptic evaluation of the tested samples showed that the best indicators were found in sample 3 (10% of cherry flour). Replacing 15% of wheat flour with cherry flour, led to some deterioration in the properties of pancakes-semi-finished products. The results of research have shown the feasibility of using in the recipe of pancakes - cherry flour, which contributes to the expansion of production and obtaining a high-quality product.

**Keywords:** cherry flour, pancakes, gluten-free flour, nutritional and energy value, organoleptic properties, minerals, vitamins.

**Введение.** В настоящее время одной из задач пищевой промышленности является поиск и оптимизация дополнительных источников функциональных пищевых ингредиентов, обусловленных низкой стоимостью и разнообразным химическим составом. Так как кулинарные изделия пользуются огромным спросом у населения и предприятий общественного питания, одной из главных задач, является расширение производства и улучшения качества готовой продукции [1,2,3,4,5,6].

Плоды черемухи в нашей стране нашли свое применение с давних времен, благодаря ее вкусовым качествам и разнообразному химическому составу. Для приготовления различных блюд и кондитерских изделий используются свежие ягоды, а также сушеные в измельченном виде (мука). Так как плоды черемухи перемалываются вместе с косточкой, черемуховая мука приобретает темно-коричневый цвет, появляется сладкий вкус с благородной горчинкой и характерным ароматом.

Именно за вкусовые качества измельченные ягоды так ценятся профессиональными кулинарами и кондитерами [7,8,9,10]. Функциональные свойства измельченной черемухи обусловлены микро- и макроэлементами, а также витаминами, присутствующими в ее составе.

Черемуховая мука является безглютеновым продуктом, который отличается тем, что не содержит глютена - растительного белка, клейковины [11,12,13]. При замене части пшеничной муки, в готовых изделиях содержание глютена снижается незначительно. Так же черемуховая мука имеет невысокий гликемический индекс (содержание сахаров не более 5%), следовательно, готовые изделия с мукой из черемухи, без добавления дополнительных углеводных компонентов (например, сахара), смогут употреблять люди с сахарным диабетом, а так же страдающие заболеваниями поджелудочной железы и ожирения [14]. Присутствующая в составе продукта клетчатка, а также дубильные вещества способствуют существенному улучшению состояния пищеварительного тракта. Кроме того ягоды черемухи являются спазмолитиком, в следствие чего позволяют избавиться от колик. Что касается витаминов, то в составе продукта присутствует витамин С, известный своими антибактериальными свойствами и способностью повышать защитные силы организма, также содержатся витамины группы В (В1, В2, В3, В4, В6, В9), витамин Е, К, мука содержит лимонную, яблочную и органические кислоты, пигменты, а также природные антибиотики фитонциды, которые обладают бактерицидными свойствами [14 - 20].

Из вышесказанного можно предположить, что замена части пшеничной муки на черемуховую муку, может значительно расширить ассортимент блюд, повышая при этом пищевую и биологическую ценность готовых изделий.

**Целью исследования** является использование черемуховой муки в технологии производства тестовой оболочки для блинчиков.

**Материалы и методы исследования.** Контрольным образцом при разработке рецептуры тестовой оболочки для блинчиков с черемуховой мукой послужила рецептура № 679 Блинчики-полуфабрикат (оболочка) (образец 1) [21], вырабатываемой из муки высшего сорта.

В качестве опытных образцов послужили образцы с частичной заменой пшеничной муки высшего сорта на черемуховую муку в количестве 5% (образец 2), 10% (образец 3) и 15% (образец 4). Добавка вносилась непосредственно на стадии замеса теста, заменяя часть муки соответственно.

В исследованиях применялись стандартные общепринятые методы, позволяющие определить пищевую ценность и органолептические показатели (ГОСТ 31986-12) исследуемых объектов.

**Результаты и их обсуждение.** В таблице 1 представлен анализ пищевой ценности черемуховой муки

по сравнению с пшеничной мукой высшего сорта.

Таблица 1 – Химический состав муки черемуховой в сравнении с мукой пшеничной

Наименование нутриентов	Единица измерения	Содержание нутриентов в 100 г	
		Мука пшеничная (высший сорт)	Мука черемуховая
Углеводы	г	70,60	22
Пищевые волокна	г	3,50	55
Жиры	г	1,10	-
Белки	г	10,30	8,5
Витамины			
β-каротин	мг	-	28,00
Витамин А (ретинол)	мкг	-	4660,00
Витамин Е (α-токоферол)	мг	1,50	7,30
Витамин В1 (тиамин)	мг	0,17	1,40
Витамин В2 (рибофлавин)	мг	0,04	1,40
Витамин В3 (ниацин)	мг	1,20	7,60
Витамин В4 (холин)	мг	52,00	1,90
Витамин В5 (пантотеновая кислота)	мг	0,30	0,14
Витамин В6 (пиридоксин)	мг	0,17	0,03
Витамин В9 (фолиевая кислота)	мкг	27,10	5,00
Витамин К (филлохинон)	мкг	-	6,40
Витамин С (аскорбиновая кислота)	мг	-	46,00
Макроэлементы			
Калий, К	мг	122,00	26,80
Кальций, Са	мг	18,00	4,40
Магний, Mg	мг	16,00	1,40
Фосфор, Р	мг	86,00	16,00
Микроэлементы			
Железо, Fe	мг	1,20	0,2
Кобальт, Со	мкг	1,60	14,00
Марганец, Mn	мг	0,57	2,00
Медь, Cu	мг	0,10 мг	0,20
Цинк, Zn	мг	0,70	0,31
Фтор, F	мкг	22,00	2,00
Калорийность	кКал	315,85	116,5

Представленные данные свидетельствуют о высокой пищевой и энергетической ценности черемуховой муки, которая богата витаминами – β-каротин, А, Е, В1, В2, В3, В5, К, С, микроэлементами – кобальтом, марганцем, медью. Калорийность черемуховой муки в три раза ниже, чем пшеничной муки.

Для приготовления блинчика – полуфабриката (оболочка) была использована черемуховая мука производства ООО «Новосибирский пищевой комбинат».

В таблице 2 представлены рецептуры тестовой оболочки блинчиков с частичной заменой пшеничной муки на черемуховую муку. Замену муки производили по сухим веществам.

Таблица 2 – Рецептуры тестовой оболочки блинчиков

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ (с/в), %	Расход сырья на 1 кг изделий, г							
		Образец 1 (контроль)		Экспериментальные образцы					
				Образец 2		Образец 3		Образец 4	
		Количество черемуховой муки, %							
		5		10		15			
		в натуре	в с/в	в натуре	в с/в	в натуре	в с/в	в натуре	в с/в
Молоко	11,50	1040,0	119,6	1040,0	119,6	1040,0	119,6	1040,0	119,6
Мука пшеничная (высший сорт)	85,50	416,0	355,7	394,2	337,02	372,3	318,3	350,4	299,58
Мука черемуховая	90,0	–	–	20,8	18,72	41,6	37,44	62,4	56,16
Яйца	27,00	83,0	22,4	83,0	22,4	83,0	22,4	83,0	22,4
Сахар	99,85	25,0	24,96	25,0	24,96	25,0	24,96	25,0	24,96
Соль	96,50	8,0	7,7	8,0	7,7	8,0	7,7	8,0	7,7
Масса теста	–	1572,0	530,4	1571,0	530,4	1569,9	530,4	1568,8	530,4
Выход	–	1000,0	–	1000,0	–	1000,0	–	1000,0	–

Для приготовления блинного теста применена классическая рецептура приготовления блинчиков, предусматривающая приготовление однородной массы теста путем размешивания яиц, соли, сахара в части холодного молока (50% нормы), с последующим постепенным введением в массу муки и оставшегося молока до получения жидкого теста (влажность 66%), с вливанием растительного масла в конце замеса, с последующим процеживанием готового теста и выпеканием блинчиков [21].

Особенностью черемуховой муки является тем-

ный цвет с миндальным вкусом и слегка горьковатым при-вкусом, с запахом шоколада. Изделия, приготовленные с применением черемуховой муки, отличаются характерным шоколадным цветом, вкусом и ароматом рома и миндаля. Для получения черемуховой муки высушенные ягоды после очистки совместно с косточками мелко размалывают до порошкообразного состояния (ТУ 9164-016-49073982 - 2004).

Была проведена органолептическая оценка готовых изделий, результаты которой представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Органолептические показатели испытуемых образцов

Наименование показателя	Образец 1 (контроль)	Образец № 2 (5% черемуховой муки)	Образец № 3 (10% черемуховой муки)	Образец № 4 (15% черемуховой муки)
Фото образцов				
Поверхность	Гладкая, ровная, не имеющая трещин, сквозных отверстий, подрывов, с мелкой равномерной пористостью, края подсохшие, посторонние включения отсутствуют	Гладкая, видны единичные вкрапления черемуховой муки, трещин и сквозных отверстий не имеет, пористость мелкая, края подсохшие	Гладкая, хорошо видны вкрапления черемуховой муки, трещин и сквозных отверстий не имеет, пористость мелкая, края подсохшие	Гладкая с вкраплениями черемуховой муки, трещин и сквозных отверстий не имеет, пористость мелкая, края подсохшие. На разрезе видны следы сырого теста
Консистенция	Мягкая, не подсохшая, эластичная, однородная, не липкая, свойственная поджаренному пресному тесту	Мягкая, однородная с небольшими включениями черемуховой муки	Мягкая с включениями черемуховой муки	Мягкая, не однородная с большим количеством жестких включений дробленой черемуховой муки, которые хорошо ощутимы при разжевывании
Цвет	Равномерный, кремовый с небольшим закалом	Светло-шоколадный, с коричневыми следами закала и вкраплениями черемуховой муки	Темно-шоколадный с многочисленными вкраплениями черемуховой муки	Темно-шоколадный с многочисленными вкраплениями черемуховой муки
Запах	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха	Свойственный данному виду изделий с едва уловимым ароматом черемухи	Сильный черемуховый с ароматом свойственным поджаренному пресному тесту	Резкий насыщенный черемуховый запах
Вкус	В меру соленый, свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	В меру соленый, свойственный данному виду изделий, с черемуховым послевкусием	В меру соленый, свойственный поджаренному пресному тесту, с привкусом черемухи	Горький, слегка вяжущий, с привкусом черемухи
* Показатели определялись в продукции, прошедшей тепловую обработку				

На основании проведенных органолептических исследований можно сделать следующий вывод, что при внесении черемуховой муки в количестве 5% все органолептические показатели приближены к контрольному образцу (рис. 1). При внесении черемуховой муки взамен пшеничной муки в количестве 10 % наблюдается изменение вкусовых характеристик: появляется запах и привкус черемухи, цвет готовых полуфабрикатов приобретает темношоколадный оттенок. Образец 4 (15% черемуховой муки) показал следы непропекшего изделия и характеризовался наличием весьма заметного количества черемуховой муки при разжевывании, с горьковатым, слегка вязущим привкусом черемухи.

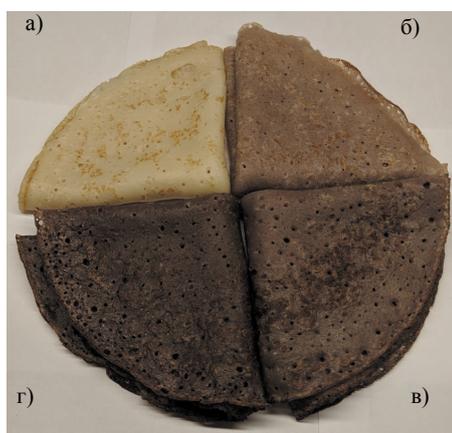


Рисунок 1 – Внешний вид тестовой оболочки блинчиков:  
а) контроль, б) 5% черемуховой муки,  
в) 10% черемуховой муки, г) 15% черемуховой муки

Пищевая и энергетическая ценность тестовой оболочки блинчиков с черемуховой мукой, в сравнении с контролем, представлена на рисунке 2.

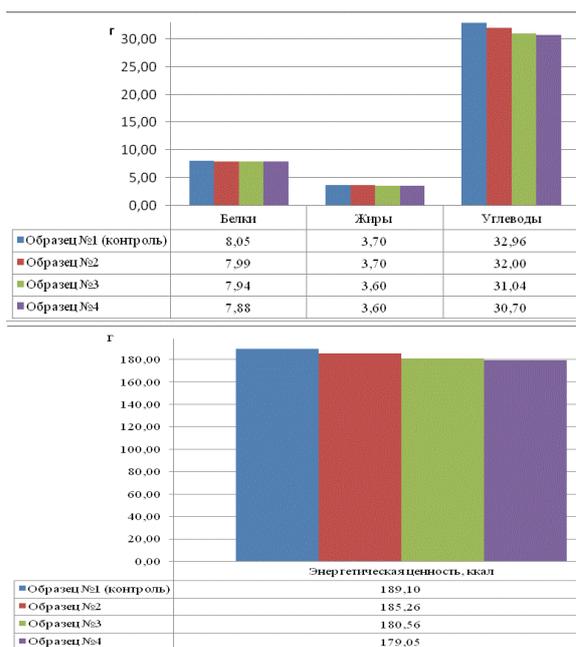


Рисунок 2 – Пищевая и энергетическая ценность тестовой оболочки блинчиков с черемуховой мукой

Из представленных данных следует, что происходит снижение количества белков, жиров и углеводов во всех опытных образцах, находящиеся в прямой зависимости от химического состава черемуховой муки. В связи с этим происходит снижение калорийности готовых изделий, придавая им диетическую направленность.

Содержание витаминов в тестовой оболочке блинчиков с черемуховой мукой, в сравнении с контролем, представлено на рисунке 3.

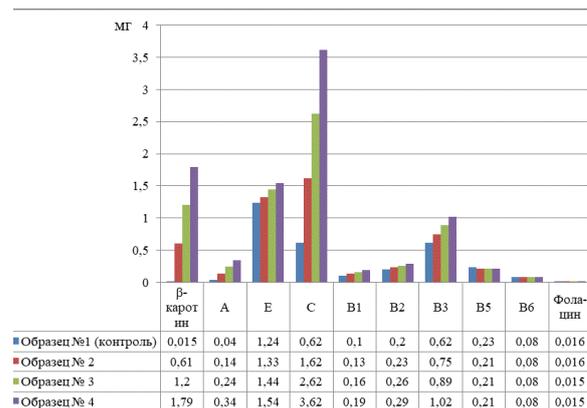


Рисунок 3 – Содержание витаминов в тестовой оболочке блинчиков

Из приведенных данных следует, что происходит заметное увеличение β-каротина, витаминов – A, E, C, B1, B2, B3. Без изменения во всех образцах остаются витамины B5 и B6, однако количество фолатина не много уменьшается.

Содержание минеральных веществ в блинчиках с черемуховой мукой, в сравнении с контролем, представлено на рисунке 4.

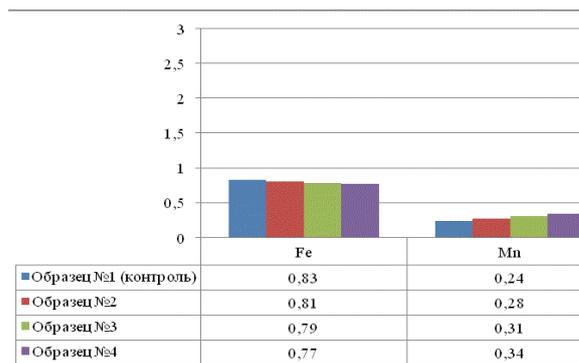


Рисунок 4 – Содержание макроэлементов в блинчиках с черемуховой мукой, в сравнении с контролем

Добавление в рецептуру тестовой оболочки блинчиков черемуховой муки, позволило получить изделия с повышенным содержанием марганца в опытных образцах в сравнении с контролем соответственно: 16 % (образец 2), 29 % (образец 3), 41% (образец 4). Наблюдается незначительное уменьшение количества железа в опытных образцах.

**Заключение.** На основании результатов проведенных исследований, подтверждена эффективность частичной замены пшеничной муки на черемуховую муку в количестве 15 % (образец 3). Целесообразность

использования черемуховой муки в рецептурах мучных кулинарных изделиях, обусловлена высокими органолептическими показателями и снижению калорийности готовых изделий. Выявлено увеличение содержания в разработанных рецептурах – пищевых волокон, витаминов и микроэлементов. При этом, не происходит изменение в технологическом процессе, что является важным фактором при введении нового компонента в рецептуру. Применение черемуховой муки в пищевой индустрии питания имеет большие перспективы, существует необходимость создания новых видов продукции имеющих диетическую и функциональную направленность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анистратова О.В., Серпунина Л.Т., Кобзарева А.С. Обоснование применения различных видов муки в рецептуре тестовой оболочки для блинчиков. Известия КГТУ. 2019. № 53. С. 89-100.
2. Кретова Ю.И., Фомина Т.Ю. Перспективы использования черемуховой муки в кондитерском производстве. В сборнике: Приоритетные направления развития пищевой индустрии Сборник научных статей. 2016. С. 350-356.
3. Пирожкова П.О., Терентьев В.А. Разработка рецептуры кекса с добавлением черемуховой муки. Проблемы науки. 2019. № 7 (43). С. 49-52.
4. Смолянова 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.
5. Лобосова Л.А., Топорова К.Ю., Профатило Н., Нестерова И. В. Использование новых видов растительного сырья в производстве кексов функциональной направленности. В сборнике: Наука молодых - будущее России Сборник научных статей 2-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 5-ти томах. Ответственный редактор А.А. Горохов. 2017. С. 53-55.
6. Канарская З.А., Хузин Ф.К., Ивлева А.Р., Гематдинова В.М. Тенденции развития технологии кондитерских изделий. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 3 (69). С. 195-204.
7. Фомина Т.Ю., Калинина И.В. к вопросу использования черемуховой муки в производстве бисквитных полуфабрикатов. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2016. Т. 4. № 3. С. 55-63.
8. Лобосова Л.А., Арсанукаев И.Х., Максименкова А.В. Новые функциональные ингредиенты в рецептурном составе песочно-выемного печенья. В сборнике: Современное хлебопекарное производство: перспективы развития. Сборник научных трудов XVI Всероссийской заочной научно-практической конференции. 2015. С. 59-62.
9. Шмыкова Е.С. Поздноцветущая форма черемухи обыкновенной: особенности развития и перспективы использования. Аграрный вестник Урала. 2014. № 9 (127). С. 65-67.
10. Щербакова Е.И. Обоснование использования черемуховой муки в производстве булочных изделий. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2016. Т. 4. № 1. С. 103-111.
11. Тиунов В.М., Чугунова О.В. Исследование органолептических и физико-химических показателей качества блинчиков полученных из полуфабрикатов сухих смесей Actual-science. 2016. Т. 2. № 10. С. 88-90.
12. Кретова Ю.И., Фомина Т.Ю., Андросова Н.В. Современные способы производства пищевых продуктов лечебно-профилактического назначения. В сборнике: Наука ЮУрГУ Материалы 68-й научной конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет. 2016. С. 495-501.
13. Kulushtayeva B., Nurymkhan G., Smolnikova F., Okus-khanova E., Kozubayeva L., Abilova M., Khayrullin M., Kisimov B. Technology of production, nutritional value and food safety of gluten free bread. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. Т. 7. № 6. С. 1338-1344.
14. Минниханова Е.Ю. Разработка рецептур кондитерских изделий пониженной калорийностью для профилактики ожирения жителей уральского федерального округа. В сборнике: Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания Материалы Международной научно-практической конференции. Ответственные за выпуск: С.Л. Тихонов, Ю.А. Овсянников. 2017. С. 160-165.
15. Струпан, Е.А. Разработка технологии и ассортимента кондитерских изделий и отделочных полуфабрикатов для диетического и лечебно-профилактического питания с использованием функциональных ингредиентов дикорастущего сырья: дис. ... канд. техн. наук /Е.А. Струпан.–СПб., 2002.– 169 с.
16. Фомина Т.Ю., Фаткуллин Р.И., Корвякова Ю.В., Порошина К.А. Исследование качества мучных кондитерских изделий с нетрадиционным растительным сырьем. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6. № 3. С. 42-48.
17. Gao X., Ohlander M., Jeppsson N., Bjork L., Trajkovski V. Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) during maturation J. agr. Food Chem. – 2000, Vol. 48. – № 5. – P. 1485–1490.
18. Самбуров А.М. Использование нетрадиционных видов муки в кондитерских изделиях. В сборнике: Конкурентоспособность территорий Материалы XX Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. В 8-ми частях. Ответственные за выпуск Я.П. Силин, Е.Б. Дворякина. 2017. С. 85-88.
19. Лобосова Л.А., Магомедов М.Г., Решетнева А.С., Магомедова А.З. Песочно-выемное печенье нового состава Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2016. № 4 (26). С. 11-12.
20. Типсина Н.Н., Яковчик Н.Ю., Глазырин С.В. перспективы использования черемухи обыкновенной. Вестник КрасГАУ. 2013. № 10 (85). С. 262-270.
21. Ананина В. А., Ахиба С. Л., Лапшина В. Т., Мальгина Р. М., Соколов В.Л., Рубан А. П., Ясюченя З. И. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания/ Под редакцией Марчука Ф. Л., - М.: Хлебпроинформ, 1996. — 620 с.

*Статья поступила в редакцию 21.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 608.3

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0017

**АНАЛИЗ ПАТЕНТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА**

© 2020

**Резниченко Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, профессор,  
*Кемеровский государственный университет*  
(650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6.)

**Мотовилов Олег Константинович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник,  
**Нициевская Ксения Николаевна**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,

**Щербинин Вячеслав Вадимович**, младший научный сотрудник,  
*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук*  
(630501, Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, а/я 463)

**Аннотация.** В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты применения продуктов переработки шиповника. Обоснована актуальность использования плодов шиповника. Плоды шиповника (Rose) различных видов являются доступным, биологически ценным сырьем, характеризующимся прежде всего высоким содержанием аскорбиновой кислоты (720%), витамина А (48%), β-каротина (52%), пищевых волокон (10-22%), дубильных и красящих веществ, антоцианов, таких минеральных веществ как железо, натрий, калий. В настоящее время большое внимание уделено исследованию химического состава различных видов плодов шиповника, произрастающих на территориях Российской Федерации и разработке безотходных технологий его переработки с сохранением биологической ценности. В обзоре охарактеризован химический состав и биологическая ценность плодов шиповника и продуктов его переработки, их лечебно-профилактическое действие, доказанное отечественными и зарубежными учеными. Уникальность химического состава позволяет применять данное сырье при разработке различных товароведных групп продукции. Проведен анализ патентной информации и обобщение данных по формированию групп однородной продукции, в которой используются плоды шиповника, представлены категориями – вкусовые товары (чайные и кофейные напитки, алкогольная, слабоалкогольная и безалкогольная продукция, получение хлебного кваса), биологически активные вещества и биологически активные добавки, кондитерские изделия (желе, мармелад и конфет: типа драже или корпусных конфет). Обобщена информация по городам Российской Федерации, в которых наиболее сосредоточены основные разработки продукции с использованием плодов шиповника. Проанализирован список патентообладателей по форме собственности организации, охватывая физические лица, научные организации, высшие образовательные учреждения и перерабатывающие предприятия.

**Ключевые слова:** плоды шиповника, патент, анализ

**ANALYSIS OF PATENT DOCUMENTATION WITH THE USE OF ROSE HIPS**

© 2020

**Reznichenko Irina Yurievna** doctor of technical Sciences, Professor,  
*Kemerovo state University*  
(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya str., 6.)

**Motovilov Oleg Konstantinovich**, doctor of technical Sciences, chief researcher  
**Nitievskaya Ksenia Nikolaevna**, candidate of technical Sciences, leading researcher

**Scherbinin Vyacheslav Vadimovich**, junior researcher,  
*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences*  
(630501, Russia, Novosibirsk region, Novosibirsk district, R. p. Krasnoobsk, and/I 463)

**Abstract.** The article discusses the theoretical and practical aspects of the use of rosehip processing products. The relevance of using rosehip fruits is proved. Rosehip (Rose) fruit of various types is an affordable, biologically valuable raw material, characterized primarily by a high content of ascorbic acid (720%), vitamin A (48%), β-carotene (52%), dietary fiber (10-22%), tannins and coloring substances, anthocyanins, minerals such as iron, sodium, and potassium. Currently, much attention is paid to the study of the chemical composition of various types of rosehip fruits growing on the territories of the Russian Federation and the development of waste-free technologies for processing it while preserving its biological value. The review describes the chemical composition and biological value of rosehip pilaf and its processed products, their therapeutic and preventive effect, proven by domestic and foreign scientists. The uniqueness of the chemical composition allows us to use this raw material in the development of various commodity groups of products. The analysis of patent information and generalization of data on the formation of groups of homogeneous products, which use rosehip fruits, are presented by categories-taste goods (tea and coffee drinks, alcoholic, low-alcohol and non-alcoholic products, obtaining bread kvass), biologically active substances and biologically active additives, confectionery (jelly, marmalade and sweets: such as dragees or body sweets). Information on the cities of the Russian Federation where the main product developments using rosehip fruits are most concentrated is summarized. The list of patent holders by form of ownership of the organization is analyzed, covering individuals, scientific organizations, higher educational institutions and processing enterprises.

**Keywords:** rosehip, patent, analysis

**Введение.** В последнее время интерес потребителей к продуктам здорового питания диктует требования к предприятиям производителям по рационализации ассортимента доступных и пользующихся спросом продуктов. Основной задачей перерабатывающей промышленности заключается в постоянной подвижности в сторону модернизационных мероприятий, связанных с инновациями. При этом инновационное направление при разработке современных технологий основано на использовании местных сырьевых ресурсов [1-5].

Актуальность использования плодов шиповника основана на его доступности в регионе, а также высокое содержание биологически активных веществ [6-10]. В государственном докладе о состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области отмечено, что область отличается большим растительным разнообразием. В состав естественной растительности входят многочисленные группы полезных растений [11-16]. Из кустарниковых, произрастающих в сибирской регионе, выделены наиболее популярные плодовые культуры - рябина красная, шиповник коричный и шиповник иглистый, боярышник кроваво-красный и другие виды. Растительные ресурсы имеют большие объемы для переработки, однако имеют свои особенности, что ограничивает их применение. Поэтому их использование неравномерно, в основном при разработке продукции лекарственного профиля и их вспомо-

гательное использовании при создании пищевой продукции.

Свежие плоды шиповника, как правило, подвергаются переработке. Основными продуктами переработки являются порошок, экстракты и масло. Систематизация данных по содержанию биологически активных веществ в плодах шиповника в среднем по показателям зависит от составных частей шиповника – стебель, корень, плоды. Фитохимический состав, определенный в шиповнике, собранном в предгорной части Дагестана представленный на рисунке 1, показывает, что наиболее богаты биологически активными веществами плоды [1, 6-9].

Проанализированы результаты при проведении фармакогностических исследования (корня шиповника *Rosa canina* (L.) в регионе произрастания - Северный Кавказ) [10,16-18]. Характеризуется наличием тритерпеновых сапонинов -  $4,66 \pm 0,02\%$ . Аминокислотный состав представлен 15 аминокислотами (аспарагиновая кислота, треонин, серин, глутаминовая кислота, глицин, аланин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, тирозин, фенилаланин, гистидин, лизин, аргинин), общее количество которых  $3,788 \pm 0,0153\%$  [7-9, 19,20].

Анализ литературных данных минерального состава плодов шиповника (регион произрастания – Республика Дагестан, Южный Казахстан и Красноярский край), варьирует в широком диапазоне, проиллюстрирован на рисунке 2 [11].

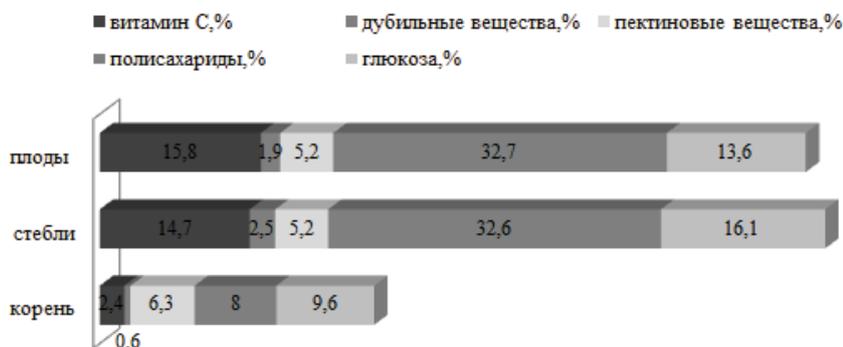


Рисунок 1 – Содержание биологически активных веществ в шиповнике

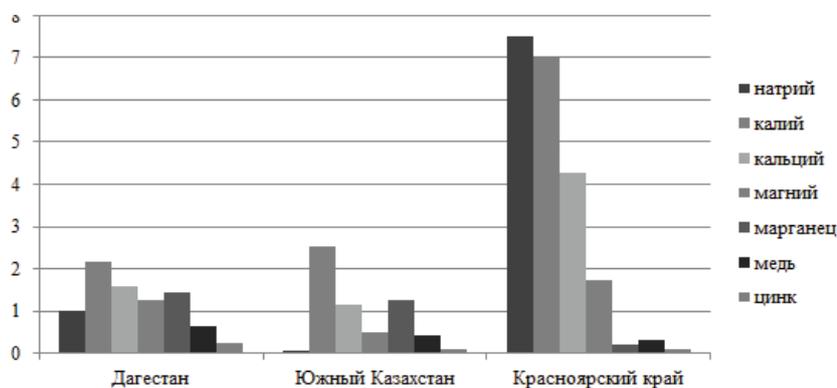


Рисунок 2 – Минеральный состав плодов шиповника, мг/г

Результаты исследований минерального состава, антиоксидантной направленности плодов шиповника,

компонентного состава летучих органических веществ свидетельствуют о высокой биологической

ценности плодов и возможности их применения в производстве пищевых продуктов для повышения пищевой ценности.

Экстракты шиповника также нашли широкое применение в технологиях продуктов питания. Показано, что в экстрактах плодов общее содержание флавонолов и дубильных веществ находится в пределах 24,2 мг/г, содержание витамина Р достигает 3152 мг%, пектиновых веществ до 2,62%, витамина С до 577,2мг% [7-9, 10-15]

**Цель исследования** заключалась в анализе и систематизации научных данных и нормативной базы, обобщение патентной документации по использованию плодов шиповника в пищевой промышленности.

**Материалы и результаты исследования.** Объекты исследований – рефераты российских изобретений за период с 2010 по 2020 гг (рис. 3).



Рисунок 3 – Проанализированные группы патентной документации в соответствии с международной классификацией

Методы исследований выбраны: теоретические, заключающиеся в анализе, сравнении и обобщение полученной систематизации.

Проанализировано 363 патента, систематизация рефератов проводили согласно следующей классификации [21]:

- Вкусовые товары – представлены алкогольными (водка, бальзамы и настойки), слабоалкогольные (квас), безалкогольные (экстракты, сиропы, напитки) напитки, чайные и кофейные напитки;
- Молочные продукты – как составной компонент в производстве мороженого, творожных продуктов, напитков из сыворотки и пахты;
- Мясные продукты – в производстве колбасных изделий;
- Рыбные продукты – в производстве консервов для детского питания;
- Пищевые концентраты – в производстве киселя и смесей для кислородных коктейлей;
- Макароны изделия – в составе теста для макаронных изделий;
- Мед и сахар – как составной компонент;
- Хлебобулочные изделия – в производстве хлебобулочных изделий, хлебцев и злаковых батончиков;
- Биологически активные вещества (БАВ) – суспензии, сборы, композиции, биологически активные добавки;
- Кондитерские изделия – желе, мармелад, конфетные изделия (драже, корпусные конфеты) (рис 4).

Обобщение данных по патентным источникам указывает на использование плодов шиповника в основном в качестве составного компонента рецептуры продукта.

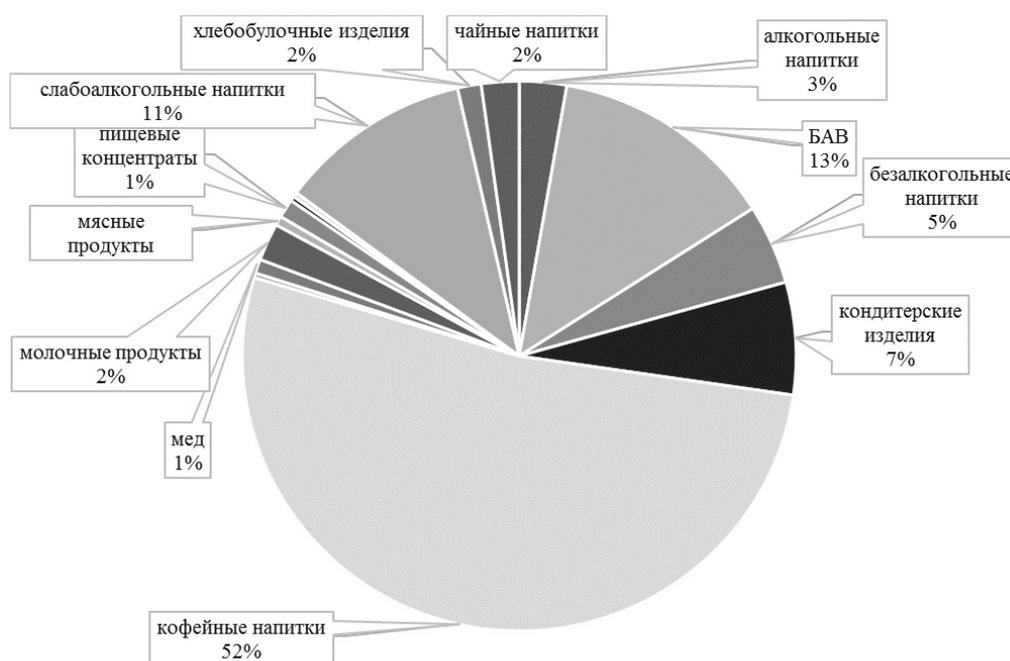


Рисунок 4 – Проанализированные группы патентной документации в соответствии с международной классификацией

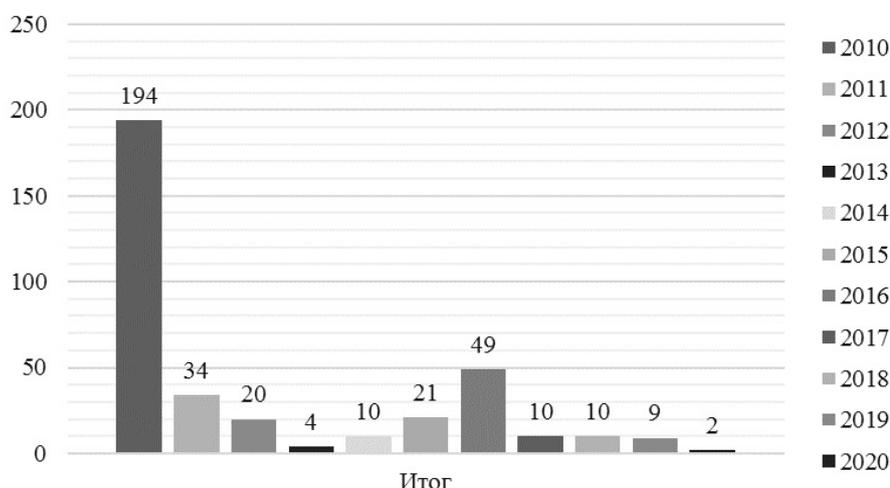


Рисунок 5 – Анализ и обобщение патентной публикации ( $P \geq 0,95$ )

Также на рисунке 5 представлена публикационная активность исследованных патентов в соответствии с годом публикации в системе «ФИПС».

Разработчики патентной документации ориентируются на сезонность продукта из плодов шиповника, поэтому патентная документация имеет непостоянные пики активности по годам, так на 2010 год приходится 194 патента, в: 2011г. - 34 патента, в 2015г. - 49 патентов, а вот уже к 2019г. установлено снижение показателя до 9 патентов в год.

При этом зона покрытия зарегистрированной патентной документации на территории Российской Федерации на исследуемых период представлена на рисунке 6. Проиллюстрированный материал имеет вид с использованием количественного соотношения при анализе продукции на основе принципа однородности. Наибольшая регистрация патентной документации приходится на - г. Москва, также на карте представлены города – Нижний Новгород, Воронеж, Курск, Краснодар, Орел, Хабаровск, Владивосток и др.

По объединенным категориям продукции установлены следующие города:

- Вкусовые товары – алкогольные (Москва, Белгород, Махачкала, Бийск, Владивосток по 1-2 патента в среднем), слабоалкогольные (Москва в количестве 41 патент), безалкогольные (Москва, Тула, Воронеж, Махачкала, Екатеринбург, Челябинск, Хабаровск, Владивосток) напитки, чайные (Москва, Михайловск, Владикавказ, Республика Чувашия, Челябинск) и кофейные напитки (Москва 189 патентов);

- Молочные продукты –Калининград, Вологда, Орел, Воронеж, Белгород, Омск, Хабаровск, Владивосток);

- Мясные продукты – Улан-Удэ;
- Рыбные продукты – Москва;
- Пищевые концентраты – Барнаул;
- Макароны изделия – Орел;

- Мед и сахар – Уфа и Воронеж;
- Хлебобулочные изделия – Тамбов, Казань, Воронеж;
- Биологически активные вещества (БАВ) – Москва, Нижний Новгород, Курск, Казань, Ростовна-Дону, Краснодар, Черкесск, Пермь, Екатеринбург, Уфа, Томск, Новосибирск, Кемерово, Благовещенск;
- Кондитерские изделия – Москва, Вологда, Орел, Воронеж, Курск, Белгород, Саратов, Волгоград, Краснодар, Екатеринбург, Омск, Новосибирск, Кемерово, Хабаровск, Владивосток (рис 5).

Обобщение данных по патентной документации формам собственности патентообладателей представлены в таблице 1.

Таблица 1 Анализ по формам собственности патентообладателей ( $P \geq 0,95$ )

Тип организации	Количество
Высшие учебные заведения	72
Научно-исследовательские организации	7
Перерабатывающие предприятия, представлены закрытым или открытым акционерным, обществом с ограниченной ответственностью	19
Физическое лицо (автор или группа авторов)	265
Общий итог	363

Представленная информация указывает на минимизацию активности научных организации при реализации фундаментальных проектов, при этом идет увеличение разработок именно физических лиц в виде единоличного авторства или коллектива авторов. Не отмечено разработок между научными и учреждениями высшего образования при сотрудничестве с перерабатывающими предприятиями в качестве совместной работы.

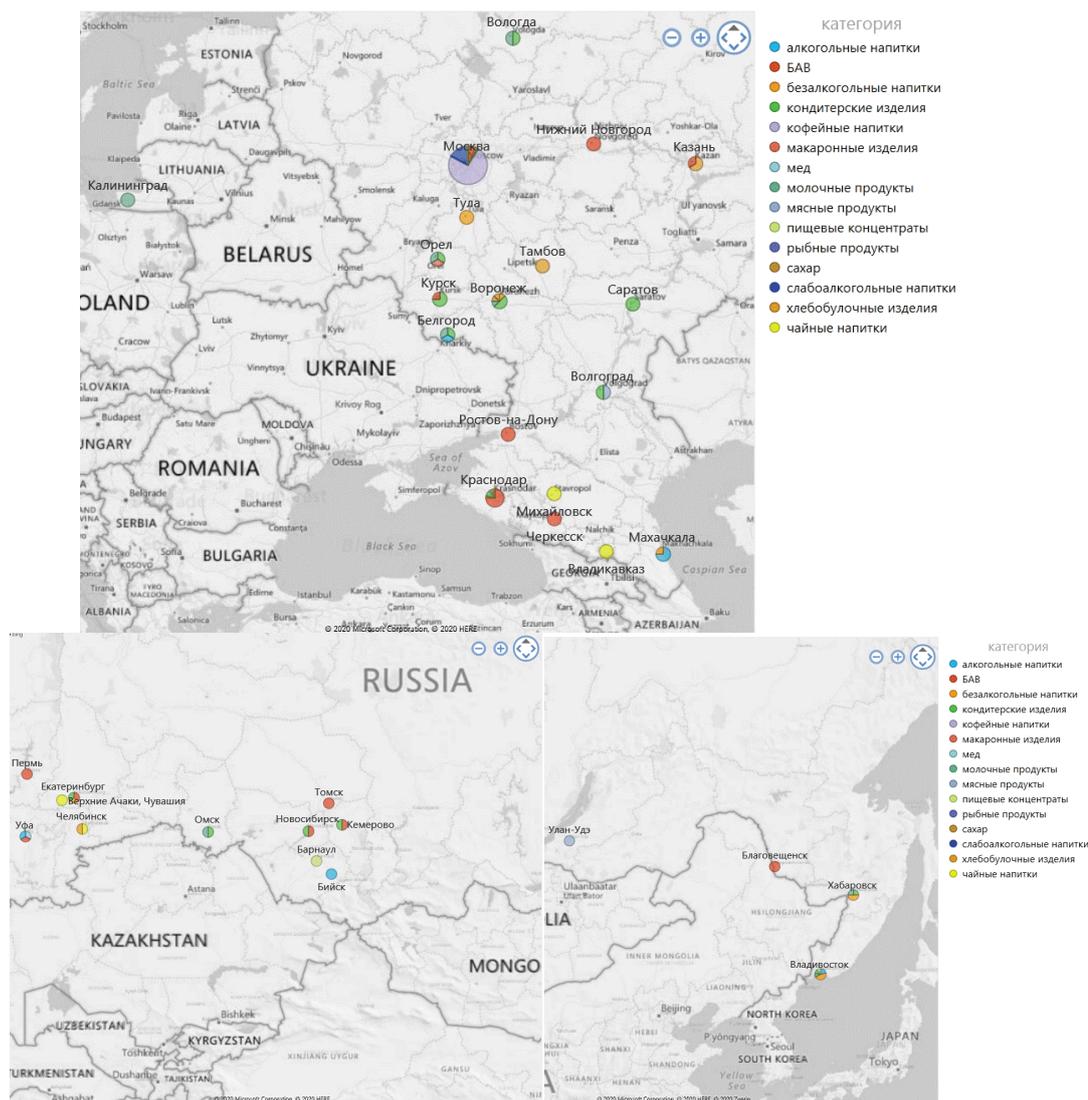


Рисунок 6 – Зона покрытия патентов на территории Российской Федерации ( $P \geq 0,95$ )

**Заключение.** Проанализированная нами патентная документация позволила выявить следующие особенности - плоды шиповника используются при разработке групп товаров различного профиля. Продукция ориентирована на потребителя, ведущего здоровый образ жизни, так как в основном это товары в категории «биологически активные вещества», а также обогащенные «кофейные напитки». В качестве экспериментальных направлений авторы предлагают применение плодов шиповника в мясной, рыбной промышленности, при получении вкусовых товаров (чайные напитки, безалкогольные и алкогольные напитки), макаронные, кондитерские и хлебобулочные изделия. Использование плодов шиповника благодаря уникальности химического состава позволяет создавать продукцию направленного действия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Цапалова И.Э. Экспертиза дикорастущих плодов, ягод и травянистых растений. Качество и безопасность: учеб. – справ. Пособие \ И.Э. Цапалова, М.Д. Губина, О.В. Голуб, В.М. Позняковский; под общ. ред. В.М. Позняковского. – 4 – е

изд., испр. и доп. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 216с.

2. Елисеева, Л. Г. Товароведение однородных групп продовольственных товаров / Елисеева Л.Г., Родина Т.Г., Рыжакова А.В. - Москва :Дашков и К, 2017. - 930 с.

3. 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

4. Oktay Yildiz1, Mehmet Alpaslan Properties of Rose hip marmalades // Food Technol. Biotechnol, 2012. -50 (1). – PP. 98–106.

5. Ana Leahu, Cristina Damian, Mircea Oroian, Sorina Ropciuc, Ramona Rotaru Influence of Processing on Vitamin C Content of Rosehip Fruits // Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies, 2014. - 47 (1). – PP. 116-120.

6. Inés Mármol, Cristina Sánchez-de-Diego, Nerea Jiménez-Moreno, Carmen Ancin-Azpilicueta, María Jesús Rodríguez-Yoldi Therapeutic applications of Rose hips from different rosa species // International Journal of Science and Research, 2017. – 18. – PP. 1137-1174.

7. Demir, N.; Yildiz, O.; Alpaslan, M.; Hayaloglu, A. Evaluation of volatiles, phenolic compounds and antioxidant activities of rose hip (Rosa L.) fruits in turkey// LWT Food Science and Technology, 2014. – 57. – PP. 126–133.

8. Adamczak, A.; Buchwald, W.; Zieliński, J.; Mielcarek,

S. Flavonoid and organic acid content in rose hips (*Rosa L.*, sect. *Caninae* dc. Em. Christ.). // *Acta biologica Cracoviensia. Series botanica*, 2012. – 54. – PP. 105–112.

9. Roman, I.; Stanila, A.; Stanila, S. Bioactive compounds and antioxidant activity of *Rosa canina* L. Biotypes from spontaneous flora of Transylvania. // Roman et al. *Chemistry Central Journal*, 2013. – 7. – PP. 73-83.

10. Вдовенко-Мартынова Н.Н. Фармакогностическое исследование корней шиповника (*rosa canina* L.) флоры Северного Кавказа / Н.Н.Вдовенко-Мартынова, Н.В. Кобыльченко, Т.И.Блинова // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация*, 2011. - №3. – С. 200-208.

11. Стародуб О.А. Характеристика минерального состава шиповника иглистого и шиповника майского, произрастающих в разных регионах Красноярского края. / О.А. Стародуб, Л.Н. Меняйло // *Перспектив Свободный* – 2007. – 2007. – С.202-205.

12. Дегтярева Е.А. Изучение влияния технологических факторов на выход липофильных веществ из растительного сырья тыквы / Е.А. Дегтярева, Л.И. Вишневская, С.В. Гарная, Е.А. Калько // *Химия растительного сырья*. 2019. - №3. - С. 299–305. DOI: 10.14258/jcrpm.2019035098.

13. Алексашина С.А. Антиоксидантный потенциал плодов шиповника / С.А. Алексашина, Н.В. Макарова, Л.Г. Деменина // *Вопросы питания*. 2019. – Т. 88. - № 3. - С-84-89.

14. Дубцова Г.Н., Кусова И.У., Куницына И.К. Пищевая ценность продуктов из шиповника // *Вопр. питания*. 2018. - Т. 87. - № 5. - С. 85.

15. Ламан Н. Шиповник - природный концентрат витаминов и антиоксидантов / Н.Ламан, Н. Копылова // *Наука и инновации*. 2017. - № 10(176). - С.45-49.

16. Петрова С.Н., Ивкова А.В. Химический состав и антиоксидантные свойства видов рода *Rosa L.* (обзор) // *Химия растительного сырья*. 2014. - № 2. - С. 13-19.

17. Roman I., Stănilă A. Bioactive poudns and antioxidant activity of *Rosa canina* L. biotypes from spontaneous fl ora of Transylvania // *Chem. Centr. J.* 2013. - Vol. 7. - N 73. - P. 3–7.

18. Кязимова И.А. Исследование технологии производства соков из тыквы, плодов хурмы и шиповника / И.А. Кязимова, И.Ю. Хусаинова; А.А. Набиев // *Пищевая промышленность*. 2018. -№6. - С. 53-55.

19. Тимофеева В.Н. Изменение биологически активных веществ плодов шиповника в процессе хранения / В.Н. Тимофеева, А.В. Черепанова, Т.А. Полякова, О.Н. Макасева // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2006. - № 1. – С.10-11.

20. 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, - N7. - PP. 2233-2236.

21. Товароведение однородных групп продовольственных товаров: Учебник для бакалавров / Л. Г. Елисеева, Т. Г. Родина, А. В. Рыжакова и др.; под ред. докт. техн. наук, проф. Л. Г. Елисеевой. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2013. —930 с.

*Статья поступила в редакцию 06.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004.032.26

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0018

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОРГАНИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

© 2020

**Синев Михаил Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительная техника»

*Пензенский государственный университет*

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

**Мартышкин Алексей Иванович**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Вычислительные машины и системы»

**Трокоз Дмитрий Анатольевич**, 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-mails: alexey314@yandex.ru, dmitriy.trokoz@gmail.com)

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию и анализу возможных подходов к организации параллельных вычислений в распределенных вычислительных системах. В ходе работы над статьей проанализированы основные подходы к организации параллельных вычислений на распределенных системах. Рассмотрены современные методы организации таких систем, их положительные и отрицательные стороны, а также теоретическая и реальная производительность. Проведены оценки метрик эффективности распределенных и параллельных систем, на примере закона Амдала. Приведено описание архитектуры вычислительного кластера, основанное на инфраструктуре облачного сервиса. Поведен ряд экспериментов, оценивающих эффективность построенной системы. Проведен ряд тестов, оценивающих производительность кластера для алгоритмов word-count и sort. Анализ полученных результатов показал, что spark может эффективно использовать распределенные вычисления, сравнимые с теоретической производительностью по закону Амдала от 90% вплоть до 97,5% доли задачи возможной для распараллеливания. В рамках анализа возможной оценки производительности не алгоритмической части, отвечающий за запись/чтение принято решение о невозможности объективной оценки данного компонента распределенного вычисления. Кроме того, определена ключевая метрика эффективности работы кластера, а именно общее время проведения распределенного вычисления.

**Ключевые слова:** большие данные, информационная безопасность, классификация, облачные сервисы, параллельные вычисления, производительность, распределенные системы, ускорение.

## RESEARCH AND ANALYSIS OF THE APPROACHES TO ORGANIZING PARALLEL COMPUTING IN DISTRIBUTED SYSTEMS

© 2020

**Sinev Mihail Petrovich**, candidate of technical Sciences,  
associate Professor of sub-department «Computer engineering»

*Penza State University*

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

**Martyshkin Alexey Ivanovich**, candidate of technical sciences, docent,  
associate Professor of sub-department «Computers and systems»

**Trokoz Dmitrii Anatolevich**, candidate of technical sciences, docent,  
associate Professor of sub-department «Computers and systems»

*Penza state technological University*

(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11,  
e-mails: alexey314@yandex.ru, dmitriy.trokoz@gmail.com)

**Abstract.** The paper is devoted to the research and analysis of possible approaches to the organization of parallel computing in distributed computing systems. In the course of work on the article, the main approaches to organizing parallel computing on distributed systems are analyzed. Modern methods of organizing such systems, their positive and negative sides, as well as theoretical and real performance are considered. From evaluation metric of the effectiveness of distributed and parallel systems, on the example of the law of Amdahl. The architecture of a computing cluster based on the cloud service infrastructure is described. A number of experiments were performed to evaluate the effectiveness of the constructed system. A number of tests were performed to evaluate cluster performance for the wordcount and sort algorithms. Analysis of the results showed that spark can effectively use distributed computing, comparable to the theoretical performance of Amdahl's law from 90% to 97.5% of the share of the problem possible for parallelization. As part of the analysis of the possible performance evaluation of the non-algorithmic part responsible for writing/reading, it was decided that it is impossible to objectively evaluate this component of distributed computing. In addition, a key metric for cluster performance has been defined, namely, the total time for distributed computing.

**Keywords:** big data, information security, classification, cloud services, parallel computing, performance, distributed systems, acceleration.

**Введение.** Сегодня необходимостью является возможность обработки и хранения больших данных. Возможность персистентного хранения данных предоставляются современными СУБД, использующими различные модели и подходы к хранению огромного объема информации, именуемыми нереляционными или «*NoSQL*» СУБД. Но даже среди таких СУБД не все могут хранить данные на одной физической машине, отсюда выходит так называемая проблема вертикального масштабирования. Для обработки таких данных нужны соответствующие способы и подходы обработки таких данных, и конечно специализированное программное обеспечение. Эти подходы подразумевают собой использование параллельных вычислений, на нескольких вычислительных системах, в том числе и в вычислительных облаках. В результате этого решения возник и соответствующий метод по обработке таких массивов данных – распределенные вычисления. Такой подход к работе с данными приносит не только возможность работать с большим объемом данных, но и значительно сократить время вычислений, что, в свою очередь, позволяет оперировать большими объемами данных, а использование облачных сред вычисления удешевляет стоимость таких вычислений, что улучшает экономическую составляющую таких систем. Представленная тема является актуальной по нескольким причинам, среди которых следующие: Тема обработки и вычислений больших данных является актуальной, количество данных в мире, растет с каждым годом и из всех этих данных можно извлечь информацию, которая может иметь тысячи применений в различных областях деятельности: от медицины до распознавания изображений; Экономические причины. Об эффективности использования облака в IT сказано большое количество раз [1]. Но использование облака для организации параллельных вычислений является крайне эффективным. Это обусловлено следующей причиной: сам характер описанной работы подразумевает кратковременные, непостоянные и высоконагруженные вычисления, что отлично укладывается в рамки вычислительного облака, потребитель использует только те ресурсы, которые ему необходимы в конкретные моменты для вычислений, таким образом, сокращается простаивание вычислительных мощностей, за счет чего повышается общая эффективность системы, в том числе и экономическая. Так же сюда относится и использование человеческих ресурсов, всей системой может управлять только разработчик, по причине отсутствия физических ресурсов. Экономия времени стоит отнести в отдельную категорию, потому что в некоторых задачах временные ресурсы имеют большее значение, чем экономические. В основном это касается параллельных вычислений, увеличивая количество узлов вычислений можно многократно сократить время на вычисление задачи.

Степень научной разработанности данной темы можно оценить как довольно слабую. Связано это в

первую очередь с тем, что технологии, используемые при организации таких распределенных вычислений, появились относительно недавно, например, первый релиз фреймворка *Spark* произошел 30 мая 2014 года [2]. Данный факт влияет на малое количество научных публикаций как по фундаментальным исследованиям в данной области, так и по теме прикладного использования конкретных технологий. Среди трудов, на которых опиралась данная работа стоит выделить [3, 4].

**Целью** работы является анализ основных подходов к организации параллельных вычислений на больших массивах, данных с использованием облачных сервисов, а так-же использование выбранного для решения вычислительных задач. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: анализ современных способов организации параллельных вычислений; проведение анализа технических средств, используемых для организации таких вычислительных систем; построение архитектуры такой системы, и практическое применение построенной системы; анализ данных, полученных в результате проведения вычислений на построенной системе, при использовании различных параметров системы.

Область исследования заключается в анализе подходов к организации параллельных вычислений на примере распределенных систем.

Объектом исследования статьи является организация эффективного способа проведения параллельных вычислений в экосистеме *Hadoop* с использованием облачных сервисов.

Предметом исследования этой работы являются проверка возможности и эффективность использования экосистемы *Hadoop* и фреймворка *Spark* для организации параллельных вычислений в облачных сервисах, исследуются вопросы экономической эффективности, вопросы автоматизации процессов размещения, а так же законы, модели и метрики, по которым можно судить об эффективности или неэффективности производительности проводимых вычислений. Рассматривается вопрос целесообразности использования и особенности такого подхода для задач по обработке большого количества данных.

Научная новизна и теоретическая значимость работы обусловлена тем, что параллельные вычисления являются быстроразвивающейся темой в современном мире разработки и организации вычислений. А в сочетании с облачными вычислениями эта тема постоянно развивается, появляются новые технологии и способы организации такого рода вычислений. Выбор архитектуры построения параллельных вычислений, основанных на использовании облака, является значимой теоретической задачей. Именно поэтому, работа, содержащая анализ элементов таких систем вычислений, а также способы организации таких вычислений является слабо проанализированной и разработанной. Доказательством научной новизны является увеличивающийся интерес к данной теме на профильных конференциях, например, крупнейшей

конференции посвященной *Hadoop – Hadoop Summit (DataWorksSummit)* [5].

Практическая значимость этой работы состоит в демонстрации практических возможностей параллельных вычислений на основе конкретного облачного сервиса и конкретной вычислительной задачи. Демонстрация различных переменных такой системы предоставит возможность провести анализ зависимости эффективности системы от различных параметров такой системы. На основе результатов данной работы можно сделать выбор о возможности использования для конкретной задачи и об эффективности использования облачных сервисов для распределенных вычислений на платформе *Hadoop*.

Обзор текущего состояния дел по данной теме. Прежде чем приступить к рассмотрению данной темы, стоит точно сформулировать определения тех сущностей, анализ которых будет проведен в данной работе. Четкой истории появления термина «Облачные вычисления» не существует и скорее всего появление этого термина было связано с использованием обозначений, используемых в схемах при проектировании и описании сетей, в которых «облако» описывало интернет или некий кластер серверов. Данная модель подразумевает под собой 5 основных характеристик: Сервис по требованию; Широкий сетевой доступ; Объединение ресурсов («pooling»); Быстрая эластичность; Измеряемость предоставленного сервиса.

Существует три типа облачных сервисов, классифицируемых по модели сервиса: Программный продукт как сервис («*SaaS*»), возможность использовать потребителем ПО через различные «тонкие» клиенты, которые предоставляются поставщиком услуг, на основе облачной инфраструктуры; Платформа как сервис («*PaaS*»), возможность размещать приобретенные или разработанные потребителем программные продукты, на поддерживаемой поставщиком платформе (языке, библиотеке, сервисе и т.п.); Инфраструктура как сервис («*IaaS*»), возможность использования базовых элементов инфраструктуры, предоставленных поставщиком облачного сервиса. Стоит отметить, что все перечисленные типы облачных сервисов, могут быть использованы при организации параллельных вычислений, некоторые из облачных провайдеров обеспечивают готовые решения по проведению параллельных вычислений (*PaaS*), однако финансовая эффективность таких решений гораздо ниже подходов по сравнению с использованием только инфраструктуры облачного провайдера.

«Облачные сервисы» имеют значительные плюсы по сравнению с традиционными вариантами архитектуры, применяемой в параллельных вычислениях. В статье [6] авторы выделяют следующие плюсы, по сравнению с традиционным «дата-центром»: возможность получения бесконечных ресурсов по требованию; отсутствие необходимости

авансовых обязательств для облачного сервиса; возможность оплачивать вычислительные ресурсы в короткие сроки; экономия средств, ввиду большого масштаба «дата-центров»; большая утилизация вычислительных ресурсов, путем суммирования нагрузки от многих клиентов (при традиционном подходе это также возможно, однако при больших объемах ресурсов, что превращает его в некое корпоративное облако); улучшенная эксплуатация и утилизация, за счет использования виртуализации. Среди перечисленных характеристик, стоит особенно отметить возможность получения большого количества дополнительных вычислительных ресурсов, и их экономическую эффективность. Эти пункты являются важными, поскольку такой тип параллельных вычислений подразумевает под собой высоконагруженные и, относительно, непродолжительные вычисления, что в свою очередь накладывает определенные ограничения на инфраструктуру, используемую для этих вычислений.

В работе [7] авторы выделяют угрозы информационной безопасности для облачной системы, среди которых технические средства обработки информации, программное обеспечение. Авторы статьи [8] выделяют схожие угрозы для потребителей облачных сервисов, а именно: небезопасные интерфейсы и *API*, вредоносные инсайдеры, ошибки и проблемы технологий общего доступа, потеря или утечка данных, похищение аккаунта или сервиса, высокий контроль поставщика и низкий потребителя. Обобщая перечисленное, можно подтвердить, что угроза несанкционированного доступа к данным или их потеря, является основной проблемой систем, использующих облачные вычисления. Необходимость соблюдения правил и рекомендаций при работе с такими системами является необходимостью, а для некоторого рода задач, связанных, например, с небылическими приватными данными пользователей, и вовсе не имеет возможности для работы.

Под термином параллельные вычисления подразумевается такой тип вычислений, в котором множество действий происходит одновременно [9], который базируется на том, что более сложные задачи, могут быть поделены на простые и решены одновременно. Параллелизм существует на нескольких уровнях: на уровне данных, уровне инструкций, на уровне потоков и параллелизм на уровне процессов [10], однако, если речь идет о распределенных вычислительных системах, то следует выявить параллелизм на уровне целых задач. Сегодня параллельные вычисления распространились на всех уровнях, и стали доминирующей компьютерной архитектурой. Термин параллельных вычислений имеет широкое понятие и включает в себя множество, более специализированных терминов, и их можно разделить на следующие классы: многопоточные вычисления, симметричное мультипроцессирование; распределенные вычисления, которые также можно разделить на: кластерные вычисления; вычисления в массово-параллельной архитектуре; грид-вычисления.

Также можно выделить специализированные параллельные вычисления, в которые входит: *GPGPU*, *ASIC*, векторные вычисления и т.д., но они имеют узкую специализацию.

**Материалы и результаты исследования.** Задачи, по проведению вычислений можно разделить на крупные классы, где критерием различия будет являться эффективность масштабирования алгоритмов при распараллеливании. На эффективность таких вычислений, в том числе и распределенных оказывают влияние следующие позиции [11]: доля параллельных вычислений к доле не параллельных вычислений в общей задаче; число и размер обменов данными между независимыми вычислительными узлами; сложность вычислений на каждом узле; число потребляемой памяти для вычислений; частота прерываний и возобновлений вычислений, связанных с вопросами синхронизации, отказами в работе, работами по управлению.

Использование облачных сервисов для организации параллельных вычислений, подразумевает распределенные вычисления, поскольку вычислительная система содержит множество элементов, выполняющих часть общей задачи. Любая распределенная система может одну из представленных архитектур:

- клиент-серверная архитектура – толстый клиент обращается к серверу за данными;
- трех уровневая архитектура – тонкий клиент обращается серверу, а сервер обращается к базе данных;
- многоуровневая архитектура – полученный запрос от клиента может передаваться большое количество раз;
- *peer-to-peer* архитектура – вся работа равномерна распределена между вычислительными элементами, именно эта архитектура используется при организации вычислений, в том числе при использовании облачных сервисов;

В системах распределенных вычислений каждая вычислительная сущность называется нодом («node») или пиром («peer»).

Бурый А. С. в своей работе [12] выделяет следующие преимущества у распределенных систем на основе облачных технологий: доступность, низкая стоимость, гибкость, надежность, безопасность, большие вычислительные мощности, и следующие недостатки: зависимость от среды передачи данных (интернет), ограничение используемого поставщиком ПО, конфиденциальность, надежность, безопасность (при слабой организации процесс работы системы).

**Результаты исследования.** Любая параллельная вычислительная система создается для ускорения решения той или иной задачи. Параллельные системы успешно справляются с этой задачей. Для измерения производительности параллельных вычислений используются специальные метрики, например ускорение выполнения работы в параллельной системе, сравнительно с последовательным вычислением («*speedup*»), но это понятие достаточ-

но широко, поскольку понятия последовательного и параллельного вычислений разнятся, поэтому существует несколько метрик, таких как относительное ускорение, реальное ускорение, абсолютное ускорение, асимптотическое реальное ускорение и асимптотическое относительное ускорение [13].

$$Speedup_{parallel}(f, n) = \frac{1}{(1-f) + \frac{f}{n}} \quad (1)$$

Приведенное выражение описывает ускорение вычислений в параллельной системе [14]. На рисунке 1 приведены графики, показывающие теоретические ограничения для параллельных вычислений на основе закона Амдала.

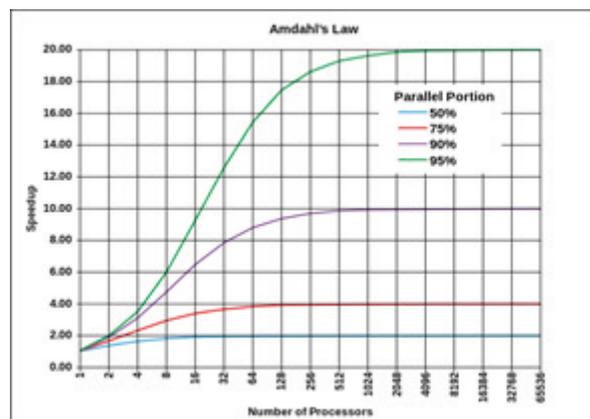


Рисунок 1 – Теоретические ограничения для параллельных вычислений на основе закона Амдала

Известен закон Густафсона-Барсиса, который оценивает максимальное ускорение выполнения параллельной программы, в зависимости от количества одновременно выполняемых потоков вычислений и доли последовательных расчетов, и представляет из себя следующее:

$$S_p = g + (1 - g)p = p + (1 - p)g \quad (2)$$

где  $g$  – доля последовательных расчетов в программе,  $p$  – количество процессоров.

Перечисленные характеристики и законы относятся к параллельным вычислениям, и хоть распределенные вычисления так же используют множество процессоров для проведения параллельных вычислений, данные законы не могут предоставить точной модели для оценки производительности распределенных вычислений, особенно при их использовании в «облаке». Данные законы не оценивают возможность использования изначально распределенных данных, за счет распределенных СБУД, а также необходимость пересылки данных между вычислительными узлами. В целом данные законы могут быть использованы при работе с распределенными вычислениями со значительными ограничениями, поскольку они не предусматривали горизонтальной масштабируемости распределенных систем.

Основным способом организации параллельных вычисления для организации вычислений на распе-

деленных частях сетей является модель *MapReduce*, представленная компанией *Google* [15]. Согласно, «*MapReduce Design Patterns*» *Map Reduce* – это вычислительная парадигма для обработки данных, которая происходит на сотнях компьютеров [16, 17]. Данный метод состоит из 3 основных стадий: *Map* – каждый из узлов системы применяет функцию *Map* на часть локальных данных, *shuffle* – данные из каждого узла перемещаются в зависимости от полученного на выходе функции *map*, *reduce* – на каждом узле полученные данные обрабатываются. Схема работы представлена на рисунке 2 [12]. Несколько модифицированная *MapReduce* используется в *Hadoop*.

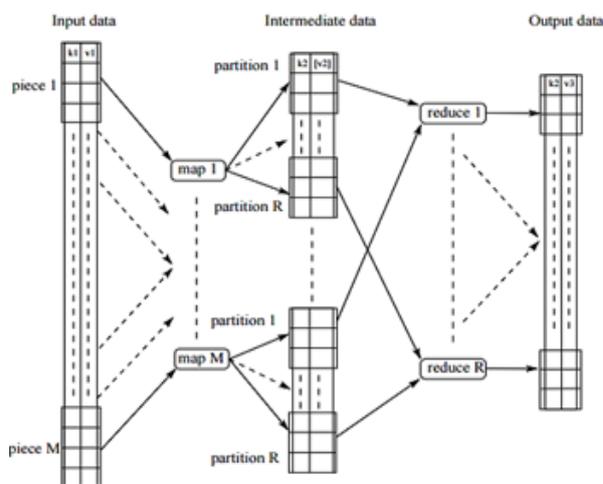


Рисунок 2 – Схема работы *MapReduce*

Согласно материалам статьи [18] простого автоматизирования процессов конфигурации, размещения и резервирования не достаточно, необходимы специальные оптимизации данных процессов, для достижения максимальной эффективности. Для выполнения параллельных распределенных вычислений применяются различные программные продукты. Данная область не богата на альтернативы и используемое ПО скорее решает более специфические задачи, такие как решение задач графов. Поэтому выбор используемого ПО должен быть ориентирован область применения и конкретной задачей. Не менее важным фактором выбора является модель проведения вычислений, и объем данных. Так, например, среди методов вычислений можно выбрать встроенные средства какой-либо *NoSQL* СУБД (*Aggregation Framework* для *MongoDB*), или использование статистических методов и специализированной системы хранения (например, *Amazon Redshift*). Однако перечисленные методы не являются абсолютными альтернативами готовым решениями, поскольку ограничены по объему обрабатываемых данных, либо требуют значительных усилий со стороны разработчик, в виде построения системы хранения, и написания системы обработки.

На текущий момент крупнейшей платформой для проведения параллельных вычислений является *Hadoop*, огромной платформой, состоящей из множества подсистем, модулей и элементов. Альтернативным

решением можно считать *Spark*, но он использует часть инфраструктура проекта *Hadoop*. Между этими системами существуют отличия [19, 20]. На рисунке 3 приведено сравнение времени выполнения итеративных вычислений на *Hadoop* и *Spark*.

## Logistic Regression Performance

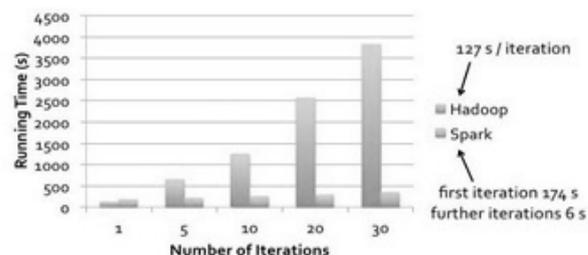


Рисунок 3 – Сравнение времени выполнения итеративных вычислений

Соответственно использование *Spark* несет свои ограничения, связанные с оперативной памятью, а также требует максимально возможное количество, что способствует росту цены используемых облачных сервисов.

Таким образом, если сравнивать *Spark* и *Hadoop* можно сделать вывод, что *Spark* позволяет максимально эффективно использовать оперативную память и процессор, что является основными пунктами стоимости вычислительной сущности, получаемой в облачном сервисе. А также он крайне эффективен при использовании его дополнительных возможностей, таких как машинное обучение с помощью встроенной библиотеки *Mlib*, *SparkR* библиотеки, позволяющий использовать язык *R* для доступа к данным.

«*Apache Hadoop*» – продукт с открытым исходным кодом, предназначенный для надежного, масштабируемого, распределенного вычисления. *Hadoop* спроектирован масштабируемым от 1 до 1000 компьютеров, имеющий локальные вычислительные ресурсы и хранилище данных [11]. *Hadoop* является инструментом с большим количеством всевозможных систем, подсистем и расширений. Одной из самых главных частей *Hadoop* является ее распределенная «файловая система» – *HDFS*. Однако назвать ее файловой системой нельзя, скорее она является распределенной базой данных. Отличает ее от обычной СУБД наличие следующий факторов [21]: объем хранимой информации; необходимость использования файлов, описывающих конкретную выборку из данных; отсутствие транзакций, нормализации данных, ограничений целостности; и др.

Однозначно, несмотря на отказ от большого количества функций, содержащихся в традиционных СУБД, *HDFS* достигает необходимой цели – линейной и не ограниченной масштабируемости. Помимо *HDFS* в *Hadoop* входят и другие модули: *Hadoop MapReduce*, программный компонент, непосредственно отвечающий за выполнение модели *MapReduce*; *YARN*, модуль, отвечающий за управление ресурсами

кластеров и планирование; *Hadoop Common*, набор различных утилит для поддержки остальных модулей

На рисунке 4 изображена схема работы модуля *MapReduce* для одного из элементов кластера. Он отвечает за непосредственную обработку данных, хранящихся в файловой системе *HDFS*, и позволяет разработчику перейти на более высокий уровень абстракции при работе с распределенными вычислениями путем автоматического распараллеливания программ и обеспечения отказоустойчивости системы.

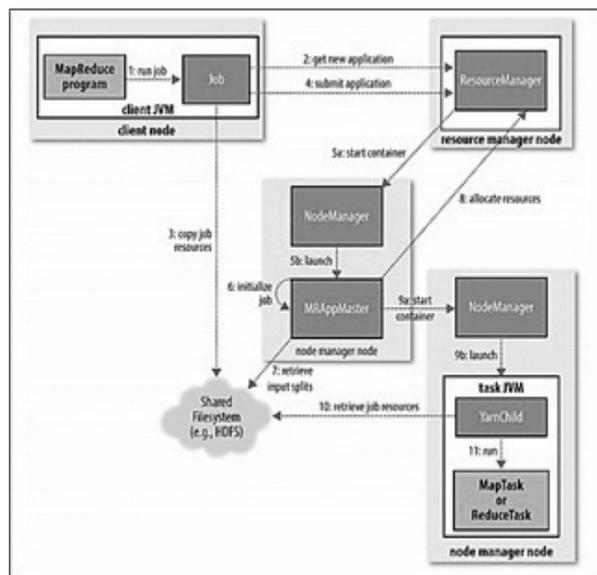


Рисунок 4 – Выполнение работы для одного элемента распределенной системы

На рисунке 5 изображена схема работа системы *YARN*, задача которой заключается в управлении несколькими фреймворками, в случае если *MapReduce* не может справиться с определенного рода задачами, такими как вычисления в реальном времени, итеративные вычисления, вычисления графов и т.д. Так же эта система содержит *YARN Resource Manager*, который является главным процессом, планирующим вычисления и управляющим ресурсами для поставленной задачи.

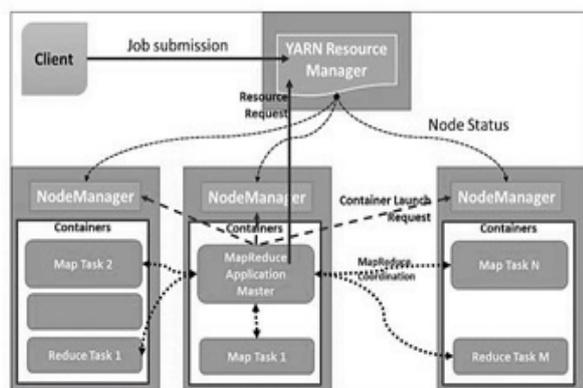


Рисунок 5 – Схема работы *YARN*

*YARN Node Manager* представляет из себя процесс, находящийся на каждом узле, управляющем локаль-

ными ресурсами.

Суть практического использования *Hadoop* заключается в: установке и конфигурации вычислительного кластера; загрузке входных данных в файловую систему *HDFS*; формировании приложения, выполняющегося на всех узлах распределенной системы; запуске всех модулей системы и ожидание процесса вычисления. *Hadoop* содержит несколько средств тестирования *HDFS* кластера для проверки нормальной работоспособности построенной системы. Для анализа данных производительности ввода\вывод используется *DFSIO*. Эта система использует *Map* задачи для записи и чтения файлов параллельно, а *Reduce* используется для суммирования и сбора данных о производительности. Также существует *TeraSort* тест, использующий набор данных объемом 1 терабайт, который необходимо отсортировать. Так проверяется работа всех компонентов системы [22]. Достижение максимальной производительности исследуемой может быть достигнуто с применением фреймворка *Spark*. Его производительность составляет двух - трехкратное уменьшение времени вычислений, вплоть до десятикратных ускорений для определенных задач. Данный факт отмечен в работе [23]. При сравнении *Spark* с фреймворками не находящимися в экосистеме *hadoop*, стоит отметить возможность добавлять вычислительные во время исполнения, возможность использовать распределенных файловую систему *HDFS*, с поддержкой управления отказами и менеджментом репликации, а также легким способом деплоя инструментов для анализа и управления данными [24]. Из перечисленных пунктов особенно важными пунктами является управление отказами, поскольку облачные сервисы не могут гарантировать уровень стабильности самих вычислительных узлов, так и сетевых соединений между этими узлами.

Сам *Spark* является *in-memory* вычислительным фреймворком, за счет чего и достигается его высокая производительность [25]. По причине использования памяти возникает и соответствующая проблема, *Out-Of-Memory Exception*, проблема нехватки памяти при выполнении определенных задач, за исключением того *Spark* масштабируется линейно с количеством нод [26].

**Построение вычислительной распределенной системы с использованием облачных сервисов.** Для создания образов будут использоваться виртуальные образы, предоставляемые поставщиком облачных сервисов *Digital Ocean*, *Core OS*, следующих характеристик: *CPU:1; RAM: 1GB; SSD: 30 GB; 2TB: transfer.*

Для создания одного экземпляра (*single-node*) *Hadoop* необходим набор определенных средств для его работы, таких как установка *Java 1.5 +*, конфигурация *SSL*, добавление специализированного пользователя и т.д.

*Hadoop* не имеет единой глобальной точки хранения для каждого экземпляра *hadoop*, конфигурация определена набором конфигурационных файлов, которые являются общими для всех узлов распреде-

ленной вычислительной сети, для синхронизации конфигурации могут быть использованы различные утилиты, такие как *rsync*, *dsh* и *pdsh*. В набор конфигурационных файлов кластера входят следующие:

- *hadoop-env.sh* – переменные окружения среды *Hadoop*;
- *core-site.xml* – параметры конфигурации *hadoop core*;
- *hdfs-site.xml* – параметры конфигурации демонов *hdfs*;
- *mapred-site.xml* – параметры конфигурации демонов *MapReduce*;
- *masters* – список физических узлов на каждом из которых работает вторичный узел имен;
- *slaves* – список физических узлов на каждом из которых работает узел данных и трекер задач;
- *hadoop-metrics.properties* – свойства, управлявшие публикацией метрик;
- *log4j.properties* – свойства различных системных журналов, журнала аудита узла имен и журнала задач для дочернего процесса трекера задач.

Использование средств конфигурирования позволяет многократно сократить время на создание кластера *Hadoop*, как при использовании готовых образов, так и сконфигурированных вручную. Достоинства использования средств оркестрации при организации распределенных вычислений в облачном сервисе:

- легко расширяется и масштабируется;
- содержит множество дополнительных инструментов.

Недостатками данного средства оркестрации является то, что оно обладает меньшей гибкостью интеграции с дополнительными инструментами обработки больших данных за счет меньшей связности компонентов [27].

Несмотря на перечисленные недостатки, в архитектуре системы будет использоваться средство оркестрации *Ansible*, поскольку система позиционирует себя как быстро-развертывающаяся, что достижимо только при использовании такого средства автоматизации.

**Архитектура динамической распределенной вычислительной системы для проведения вычислений в облачном сервисе.** Для взаимодействия с облачным сервисом, управлением размещения контейнеров и конфигурации будет использовано известное средство оркестрации *Ansible*. Общая схема работы системы продемонстрирована на рисунке 6.

В общей архитектуре системы не указаны объекты, отвечающие за доставку, получение, хранение и отправку данных, по которым осуществляются вычисления. Связано это с тем, что решение данной задачи может быть выполнено различными способами в зависимости от объема данных и необходимой задачи. Например, при незначительном объеме данных (меньше 1 ГБ) данные могут быть загружены локально, на один из узлов, а далее *Spark* во время исполнения поделит данные между отдельными исполнителями и проведет решение. Если количество

данных намного больше возможна организация на каждом вычислительном узле, отдельной ноды *HDFS*. Либо для каждого вычислительного узла, будет создан элемент кластера какого-либо *NoSQL* хранилища данных, например *Kafka* или *Cassandra*. Если же данные методы не позволяют использовать объем данных или ограничения облачного сервиса, то существует возможность использовать *Spark Streaming*, суть данного метода заключается в том, что данные поступают на кластер в виде множества потоков из указанного источника данных, такого как *Kafka*, *Flume*, *ZeroMQ* или не связанная с этим кластером *HDFS*.

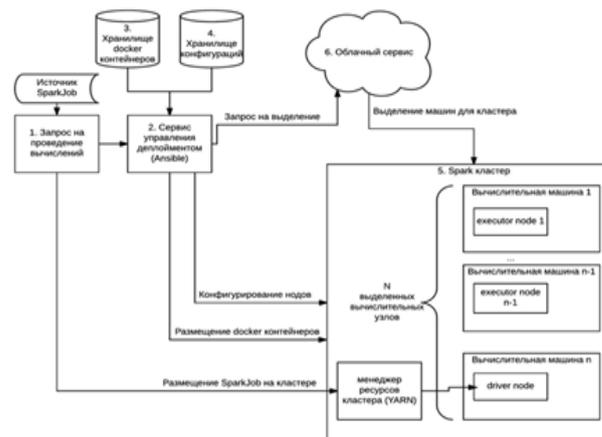


Рисунок 6 – Общая архитектура распределенной системы

**Выполнение распределенных вычислений в распределенной системе.** В качестве основного изменяемого параметра было выбрано количество *executor*, узлов, проводящих непосредственные вычисления распределенного алгоритма. Их количество будет являться степенью 2, для удобства сравнения с асимптотической функции, представленной, например, в законе Амдала. На один *executor* выделено 1 вычислительное ядро, так как такая конфигурация инстанса была предоставлена облачным сервисом. В ходе проведения эксперимента было выявлено, что объем памяти выделяемый для каждого *executor* не оказывает влияния на производительность, а следовательно, и на общее время выполнения вычислений. Связано это с тем, что общий объем тестовых данных, его отдельные партиции (*partition*) и промежуточные данные, генерируемые в ходе вычислений, могут целиком помещены в память, при больших объемах данных, данный параметр оказывает большее значение. Результаты экспериментов продемонстрированы в таблице 1, значениями является общее время выполнения отдельного алгоритма, без учета загрузки, выгрузки и очистки данных. Время указано в миллисекундах.

Таблица 1 – Результаты проведения экспериментов

	1	2	4	8	16
sort	91055	49750	27161	17306	8103
wordcount	126806	68133	38129	25501	14703

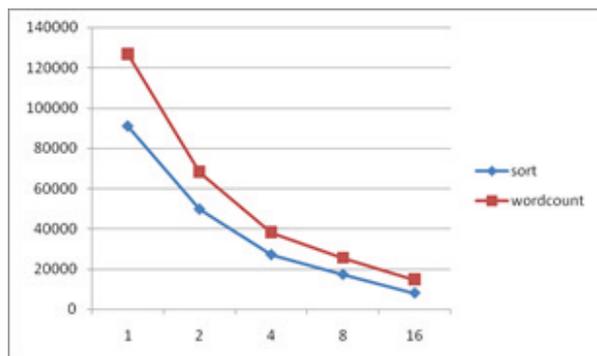


Рисунок 7 – Время выполнения вычисления для алгоритмов *sort* и *wordcount*

Результаты вычислений (рис. 7) свидетельствуют о значительном ускорении, близком к линейному, связано это с эффективностью парадигмы *map reduce*, не требующей значительных требований по вычислению не парализуемых вычислений. Стоит отметить, что в рассмотренной выборке не учитывается процесс получения данных в одном узле вычислений, что бы потребовало значительных временных ресурсов, которые требуются для загрузки и выполнения дополнительных вычислений. Основываясь на полученных данных, вычисляются значения ускорения для выполненных вычислений по выражению

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}} \quad (3)$$

где  $\alpha$  – доля времени вычисления, не являющаяся параллельными, а  $p$  – доля не параллельных вычислений.

В качестве целевой функции, по которой будут оцениваться результаты вычислений, выбраны значения  $\alpha$ , равные 0.025, 0.05, 0.1 и 0.75. Данные значения позволяют проанализировать эффективность построенной системы. На рисунке 8 продемонстрирован график роста ускорения производительности алгоритма *sort* с увеличением количества вычислительных узлов. Данные результаты указывают на то, что ускорение *sort* алгоритма в распределенной вычислительной системе сходна с параллельным вычислением с долей параллельных вычислений от 95 до 97.5 процентов.

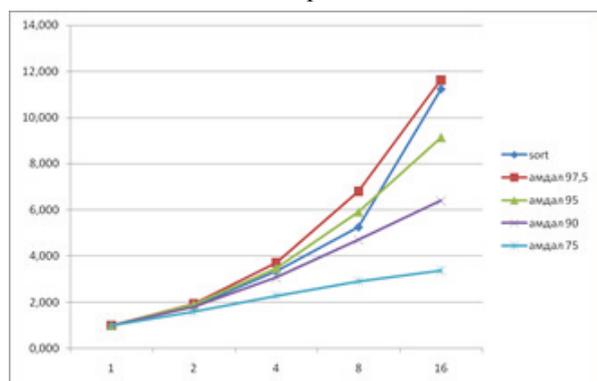


Рисунок 8 – Ускорение для алгоритма *sort* и закон Амдала для разной доли параллельных вычислений

На рисунке 9 продемонстрирован график роста ускорения производительности алгоритма *wordcount* с увеличением количества вычислительных узлов. Данные результаты указывают на то, что ускорение *wordcount* алгоритма в распределенной вычислительной системе сходна с параллельным вычислением с долей параллельных вычислений от 90 до 95 процентов.

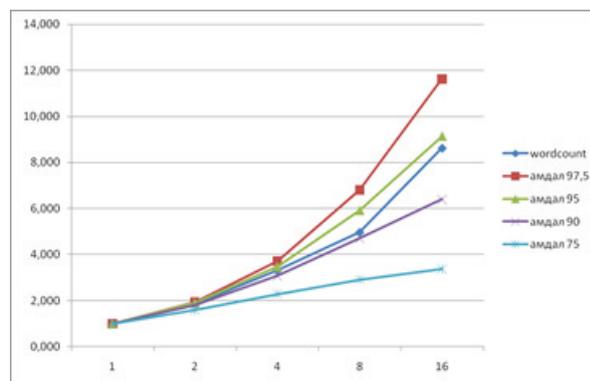


Рисунок 9 – Ускорение для алгоритма *wordcount* и закон Амдала для разной доли параллельных вычислений

Обобщая полученные результаты, приходим к выводу, что фреймворк *spark* эффективно использует парадигму параллельных вычислений и достигает практически линейной масштабируемости для количества вычислительных узлов меньше 16. Стоит отметить, что качественной характеристикой производительности вычислительного кластера может являться только общее время выполнения, особенно это касается комплексных задач, состоящих из меньших этапов вычислений, таких как функции *map*, *reduce*, *filter* и т.д. Поскольку временную величину трудно оценивать отдельно от контекста предыдущих выполнений определенного набора алгоритмов, стоит использовать регрессионное тестирование. Такая оценка позволяет оценивать качество проводимых операций по оптимизации и улучшения, как в программе содержащее выполняемые алгоритмы, так и в параметрах управляемых процессом вычислений.

Проведенные в работе эксперименты не указывают в себе этапы выполнения распределенного вычисления, которые включают в себя процессы по работе с операциями ввода/вывода и операции пересылки по сети. Данные операции трудно объективно оценить по ряду причин [28, 29].

**Заключение.** В статье проанализированы основные подходы к организации параллельных вычислений на распределенных системах. Рассмотрены современные методы организации таких систем, их положительные и отрицательные стороны, а также теоретическая и реальная производительность. Проведены оценки метрик эффективности распределенных и параллельных систем, на примере закона Амдала.

В работе описана архитектура вычислительного кластера, основанная на инфраструктуре облачного сервиса. Синтезированная архитектура нацелена на

высокую скорость развертывания сущностей кластера. В предлагаемой архитектуре используются средства контейнеризации для обеспечения стандартизированного подхода по управлению элементами кластера и независимой работы компонентов одного вычислительного узла и использования его не только как *spark executor*, но и узла *HDFS* или элемента распределенной СУБД. Такой подход позволяет использовать работу с данными, которые могут располагаться на развертываемом кластере, так и из другой системы при помощи стриминга.

В работе проведен ряд экспериментов, оценивающих эффективность построенной системы. Проведен ряд тестов, оценивающих производительность кластера для алгоритмов *wordcount* и *sort*. Анализ полученных результатов показал, что *spark* может эффективно использовать распределенные вычисления, сравнимые с теоретической производительностью по закону Амдала от 90% вплоть до 97,5% доли задачи возможной для распараллеливания. В рамках анализа возможной оценки производительности не алгоритмической части, отвечающей за запись/чтение принято решение о невозможности объективной оценки данного компонента распределенного вычисления. Кроме того, определена ключевая метрика эффективности работы кластера, а именно общее время проведения распределенного вычисления.

В ходе работы по тематике настоящей статьи выведен ряд сложностей и особенностей построения кластеров для проведения распределенных вычислений в облачной архитектуре, которые приведены далее. Классический кластер подразумевает высокое качество сети между вычислительными нодами, а именно высокая скорость передачи данных, отсутствие или крайне низкое количество потерь в канале, вследствие близкого физического расположения физических машин и общей инфраструктуры сети. При использовании облачной инфраструктуры публичных облаков для построения вычислительного кластера данные особенности накладывают ограничения на максимальную производительность кластера. Как было отмечено в статье, операции ввода/вывода менее эффективны, по сравнению с выделенным кластером, и это также является узким местом для рода задач, связанных с большими объемами записи в персистентную область памяти.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. J. Koomey 4 reasons why cloud computing is efficient [Электронный ресурс]. 2011. Режим доступа: <http://www.reuters.com/article/2011/07/25/idUS59089929820110725> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
2. Apache Spark [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Apache\\_Spark](https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Spark) свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
3. H. Karau, R. Warren High Performance Spark Best Practices for Scaling and Optimizing Apache Spark [Текст] / H. Karau. — O'Reilly Media, 2016. — 358 с.
4. H. Karau, A. Konwinski, P. Wendell, M. Zaharia Learning Spark: Lightning-Fast Big Data Analysis 1st Edition [Текст] / H. Karau. — O'Reilly Media, 2015. — 276 с.
5. DataWorks Summit [Электронный ресурс]. 2012. — Режим доступа: <https://hadoopsummit.czcam.com/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
6. M. Armbrust A view of cloud computing / M. Armbrust [и др.] // *Magazin, Communications of the ACM*. — 2010. — №53. - С. 50–58.
7. В.В. Богданов Актуальность обеспечения информационной безопасности в системах облачных вычислений, анализ источников угроз / В.В. Богданов, Ю.С. Новоселова // Математическое обоснование и теоретические аспекты информационной безопасности. — 2012. — №4. - С. 78–82.
8. Top Threats to Cloud Computing V1.0 [Электронный ресурс]. 2010. Режим доступа: URL: <https://cloudsecurityalliance.org/topthreats/csathreats.v1.0.pdf> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
9. A. Gottlieb Highly parallel computing (2nd ed.) [Текст] / A. Gottlieb, G. S. Almasi. — Benjamin-Cummings Publishing Co. — 1994. — с. 162.
10. S. Sahni Parallel Computing: Performance Metrics and Models / S. Sahni, V. Thanvantri [Электронный ресурс]. 1996. Режим доступа: <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/00/09/53/64/00001/1996206.pdf> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
11. What Is Apache Hadoop? [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: URL: <http://hadoop.apache.org/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
12. А. С. Бурый Тенденции развития распределенных информационных систем на основе облачных технологий / А. С. Бурый // *Транспортное дело России*. — 2013. — №6. - С. 70–72.
13. G. Fayez Algorithms and Parallel Computing [Текст] / G. Fayez. — Wiley, 2011. — 341 с.
14. M. D. Hill Amdahl's Law in the Multicore Era / M. D. Hill, M. R. Marty // *Computer*. — 2008. — №41. - С. 33–38.
15. J. Dean, Sanjay Ghemawat MapReduce: Simplified Data Processing on Large Cluster / J. Dean, S. Ghemawat // OSDI'04: Sixth Symposium on Operating System Design and Implementation [Электронный ресурс]. 2004. Режим доступа: URL: <http://research.google.com/archive/mapreduce.html> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
16. D. Miner MapReduce Design Patterns [Текст] / D. Miner, A. Shook. — O'Reilly Media, 2012. — 250 с.
17. Мартышкин А.И., Сальников И.И., Пашенко Д.В. Этапы сбора и представления больших данных для построения социального профиля человека // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. — 2018. — № 9. — С. 617-628.
18. K. Kambatla, A. Pathak, H. Pucha Towards Optimizing Hadoop Provisioning in the Cloud [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.usenix.org/legacy/events/hotcloud09/tech/full\\_papers/kambatla.pdf](https://www.usenix.org/legacy/events/hotcloud09/tech/full_papers/kambatla.pdf) свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
19. Apache Spark vs Hadoop MapReduce [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <http://www.edureka.co/blog/apache-spark-vs-hadoop-mapreduce> (01.05.17)
20. Spark Framework [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: <http://spark.apache.org/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
21. What Is Apache Hadoop? [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: <http://hadoop.apache.org/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
22. T. White Hadoop: The Definitive Guide, 4th Edition [Текст] / T. White. — O'Reilly Media, 2015. — 756 с.
23. S. Perera Hadoop MapReduce Cookbook Second Edition [Текст] / S. Perera. — Packt Publishing Ltd, 2015. — 290 с.

24. L. Liu Performance comparison by running benchmarks on hadoop, spark, and hamr [Текст] — ProQuest, 2016. — 51 p.

25. J. L. Reyes-Ortiz Big Data Analytics in the Cloud: Spark on Hadoop vs MPI/OpenMP on Beowulf / J. L. Reyes-Ortiz, L. Oneto, D. Anguita // Procedia Computer Science. — 2015. — №53. - С. 121–130.

26. M. LI SparkBench: A Comprehensive Spark Benchmarking Suite Characterizing In-memory Data Analytics / M. LI, J. Tan, Y. Wang, L. Zhang, V. Salapura, A. Bivens [Электронный ресурс]. 2015. Режим доступа: [https://research.spec.org/fileadmin/user\\_upload/documents/wg\\_bd/BD-20150401-spark\\_benchmark-v1.3-spec.pdf](https://research.spec.org/fileadmin/user_upload/documents/wg_bd/BD-20150401-spark_benchmark-v1.3-spec.pdf) свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).

27. A. Davidson Optimizing Shuffle Performance in Spark / A. Davidson, A. Or [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/d746/505bad055c357fa50d394d15eb380a3f1ad3.pdf> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).

28. О.Д. Борисенко, Создание виртуальных кластеров Apache Spark в облачных средах с использованием систем оркестрации. / Пастухов Р.К., Кузнецов С.Д. // Труды ИСП РАН. — 2016.— №28/6 - С. 111-120.

29. D. Ghoshal I/O Performance of Virtualized Cloud Environments / D. Ghoshal, R. S. Canon, L. Ramakrisnan // Data-Cloud-SC '11 Proceedings of the second international workshop on Data intensive computing in the clouds. — 2011.— №11 - С. 74-80.

**Статья публикуется при поддержке гранта РФФИ «Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований» (Грант № 19-07-00516 А).**

*Статья поступила в редакцию 05.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004.652.4

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0019

## РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЁННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ

© 2020

**Миков Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Компьютерные системы и сети»

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, e-mail: MikovDA@yandex.ru)*

**Аннотация.** Телемедицинские системы, осуществляющие дистанционный мониторинг состояния здоровья пациентов, работают с информацией, составляющей врачебную тайну, и персональными данными. Обеспечение информационной безопасности в данной сфере является жизненно важной для функционирования таких систем задачей. Помимо управления информационными рисками и обеспечения безопасной передачи данных, остаётся нерешённой задача эффективного хранения информации, связанная с разработкой базы данных, позволяющей реализовать защищённую среду хранения информации. В статье определён круг задач, решаемых телемедицинской системой, представлены этапы процесса её функционирования, определены критерии принятия решений. На основе рассмотренных принципов построения и особенностей реализации представлена структурная схема телемедицинской системы, состоящая из трёх слоёв. Описаны принципы функционирования подсистем, их структурных компонентов и элементов, включая взаимодействие между базой данных и серверной частью, построена диаграмма деятельности. Сформулирована совокупность требований к телемедицинской базе данных, обеспечивающих эффективность её функционирования и защищённость хранимой и обрабатываемой ей информации, определён круг выполняемых ей типовых запросов. Проведён сравнительный анализ дискреционной, мандатной и ролевой моделей управления доступом в телемедицинской базе данных. Разработана политика управления доступом к данным на основе ролевой модели.

**Ключевые слова:** защита информации, информационная безопасность, телемедицина, врачебная тайна, персональные данные, базы данных, диаграмма деятельности, ролевое управление доступом.

## DEVELOPMENT OF A SECURE DATABASE FOR THE TELEMEDICINE SYSTEM

© 2020

**Mikov Dmitry Alexandrovich**, candidate of engineering sciences,  
associate professor of the department of «Computer systems and networks»

*Bauman Moscow State Technical University  
(105005, Russia, Moscow, 2-nd Baumanskaya, 5, e-mail: MikovDA@yandex.ru)*

**Abstract.** Telemedicine systems that carry out remote monitoring of the health status of patients work with information constituting a medical secret and personal data. Ensuring information security in this area is a vital task for the functioning of such systems. In addition to information security risk management and ensuring secure data transfer, the problem of efficient information storage remains unresolved, associated with the development of a database that allows implementing a secure information storage environment. The article defines the range of tasks solved by the telemedicine system, presents the stages of the process of its functioning, defines the decision-making criteria. Based on the considered construction principles and implementation features, a structural diagram of a telemedicine system consisting of three layers is presented. The principles of the functioning of subsystems, their structural components and elements, including the interaction between the database and the server part, are described, an activity diagram is constructed. The set of requirements for the telemedicine database is formulated, ensuring the effectiveness of its functioning and the security of the information stored and processed by it, and the range of typical performed queries is determined. A comparative analysis of the discretionary, mandatory and role-based access control in the telemedicine database is carried out. A data access control policy based on a role model is developed.

**Keywords:** data protection, information security, telemedicine, medical secrecy, personal data, database, activity diagram, role-based access control.

**Введение.** В системах, осуществляющих дистанционный мониторинг состояния объектов, жизненно важным является вопрос обеспечения информационной безопасности [1, 2]. Это особенно актуально в телемедицинских системах, предназначенных для дистанционной оценки состояния здоровья пациентов [3, 4]. Все созданные модели угроз информационной безопасности телемедицинских систем выявляют проблему защиты как при передаче, так и при хранении данных [5, 6].

Независимо от используемых технологий хра-

нения данных, конфиденциальность, целостность и/или доступность информации в телемедицинских системах может быть нарушена за счёт несанкционированных воздействий, в том числе и целенаправленного характера [7, 8]. С учётом наличия информации, составляющей врачебную тайну, и персональных данных в телемедицинских системах любое нарушение информационной безопасности может стать критичным [9, 10]. Надёжность функционирования телемедицинских систем зависит от управления информационными рисками, обеспечения

безопасной передачи данных и эффективного хранения информации [11].

**Целью** данной работы является исследование последнего аспекта – формулирование совокупности принципов разработки базы данных, позволяющих реализовать защищённую среду хранения информации в телемедицинской системе.

**Материалы и результаты исследования.** Проектированию базы данных предшествует моделирование предметной области, для чего необходимо предварительно провести анализ с учётом современных потребностей в информации при принятии врачебных решений и выделить совокупность задач телемедицинской системы [12]:

- 1) описание диагноза;
- 2) классификация согласно действующим методикам и стандартам;
- 3) сбор данных о нежелательных побочных воздействиях;
- 4) исследование методов лечения на совместимость;
- 5) выбор наиболее эффективного алгоритма лечения;
- 6) поддержка принятия окончательного врачебного решения.

То есть исследуемая предметная область тесно связана с процессом перебора вариантов и поиска

методов лечения. Можно представить функционирование телемедицинской системы в виде следующих этапов [13]:

- 1) описание состояния пациента на основе дистанционного сбора данных, включая проведение анализов и постановку диагноза;
- 2) анализ ограничений при наличии аллергии, нарушении функций отдельных подсистем организма;
- 3) выбор наиболее эффективного алгоритма лечения;
- 4) прогнозирование вариантов результата лечения, включая оценку безопасности и вероятности появления побочных воздействий.

В соответствии с теорией принятия решений необходимо идентифицировать критерии выбора, множество альтернатив и алгоритм выбора альтернатив на основе критериев. Для телемедицинской системы существуют следующие критерии принятия решений [14]:

- 1) диагноз пациента;
- 2) алгоритм лечения;
- 3) потенциально возможные побочные воздействия (например, из-за аллергических реакций).

Рассмотренные принципы построения и особенности реализации позволили представить следующую структурную схему телемедицинской системы (рис. 1).

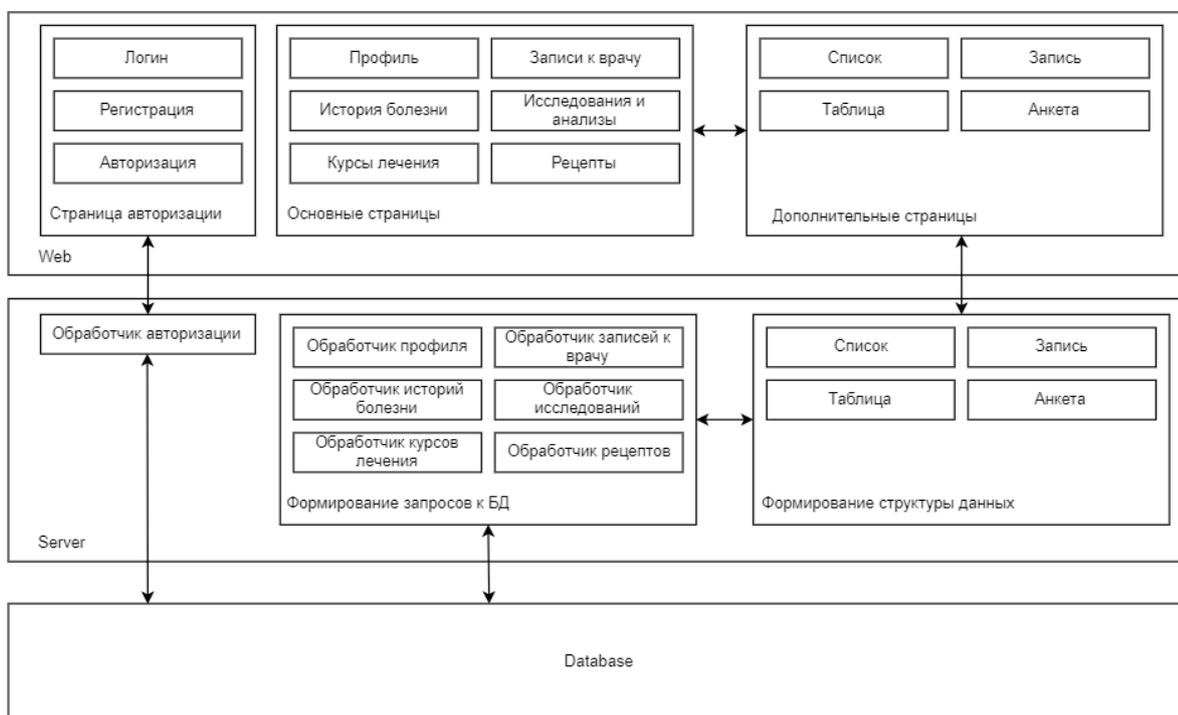


Рисунок 1 – Структурная схема телемедицинской системы

Структура делится на три слоя: *web* – включает то, что находится на стороне клиента; *server* – включает то, что находится на стороне сервера; *database* – база данных [15].

У страницы авторизации на стороне сервера отдельный обработчик по причине того, что запросы к ней будут происходить часто, и нет необходимости

формировать особые структуры данных наподобие списков, так как взаимодействие происходит короткими сообщениями.

Для основных страниц необходимо структурировать данные особым образом, чтобы корректно отображать списки, записи, таблицы и анкеты. Для этого существуют дополнительные страницы, которые

берут задачу визуализации этих структур данных на себя.

На стороне сервера находятся классы, которые структурируют данные под формат, необходимый конкретной дополнительной странице. Например, класс «список» создаёт структуру данных, которую может обработать дополнительная страница «список» и т.д.

Для каждой основной страницы существует запрос к базе данных, который выполняет извлечение необходимых данных для класса, формирующего структуру данных. У каждого такого запроса существует свой обработчик в области формирования запросов к базе данных.

На основе выявленных особенностей предметной области выполнено её моделирование. При помощи унифицированного языка моделирования *UML* разработана диаграмма деятельности, позволяющая учитывать всю необходимую для принятия решения информацию (рис. 2).

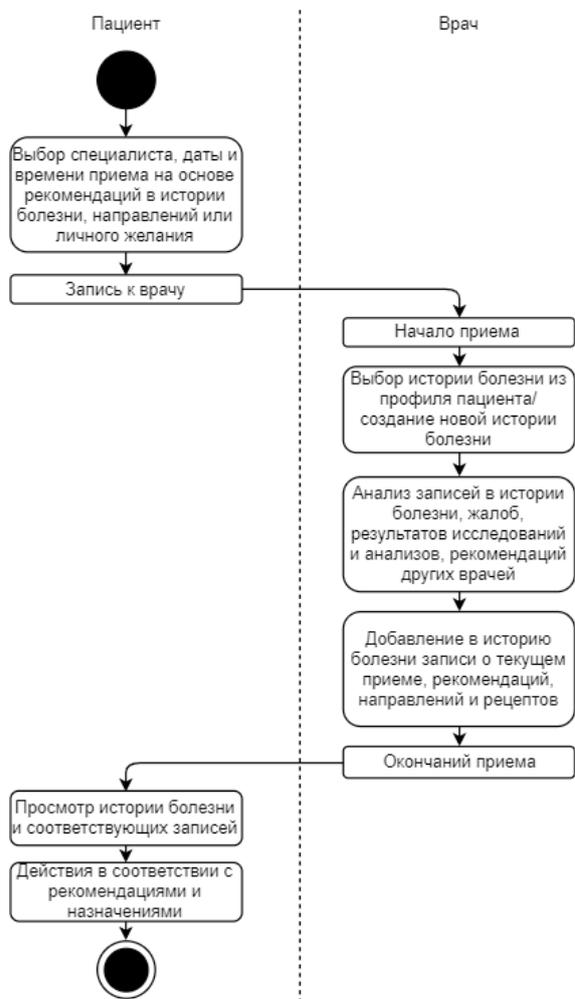


Рисунок 2 – Диаграмма деятельности

**Требования к телемедицинской базе данных.** При переносе разработанной модели предметной области в реляционную СУБД необходимо обеспечить соответствие следующим требованиям к схеме данных [16]:

1) схема данных должна давать полное представление о предметной области;

2) в схему данных должны быть включены все необходимые для выполнения запросов таблицы и их атрибуты соответственно;

3) наименования таблиц должны быть уникальными;

4) наименования атрибутов в пределах одной таблицы должны быть уникальными;

5) необходимо гарантировать однозначную трактовку схемы данных;

6) каждое отношение должно содержать первичный ключ;

7) схема данных должна быть гибкой, способной дополняться без масштабных преобразований существующей схемы данных при необходимости выполнения новых запросов;

8) список таблиц должен быть минимальным;

9) таблица создаётся только в том случае, если без неё невозможно выполнить запрос;

10) список атрибутов должен быть минимальным;

11) атрибут включается в таблицу только в том случае, если без него описание предметной области не будет исчерпывающим;

12) первичный ключ таблицы должен быть минимальным, с невозможностью исключения из него атрибутов без нарушения однозначной идентификации.

Телемедицинская база данных должна обеспечить выполнение следующих запросов [17]:

1) идентификация пользователя;

2) подключение к истории болезни и другой архивной информации;

3) создание списков пациентов;

4) создание исчерпывающего набора данных о пациенте;

5) добавление результатов анализов и осмотров;

6) добавление и редактирование медицинских данных о пациенте;

7) формирование шаблонов;

8) подключение к дополнительным данным (лабораторная информация, лекарственные средства, международная классификация болезней, медиафайлы).

**Политика управления доступом.** Наконец, для обеспечения безопасной работы с данными необходимо разработать политику управления доступом к данным в соответствии с одной из перечисленных моделей [18-20]: дискреционное управление доступом; мандатное управление доступом; ролевое управление доступом.

Дискреционное управление доступом нецелесообразно, поскольку в телемедицинской базе данных количество пользователей и ресурсов будет исчисляться сотнями и тысячами, то есть перечисление допустимых типов доступа для каждой пары «субъект – объект» является неоправданно громоздкой задачей. Мандатное управление доступом с его жёстким разграничением на основе меток доступа являются ключевым отличием систем защиты государственной тайны и не подходят для телемедицинской системы, где необходима более гибкая настройка. Ролевое управление доступом наиболее эффективно для ре-

шения стоящей задачи, поскольку нет необходимости в перечислении допустимых типов доступа для каждой пары «субъект – объект», которые заменяются назначением каждому пользователю соответствующей роли. В то же время отсутствует жёсткая привязка к меткам доступа, что обеспечивает гибкую политику управления доступом (табл. 1).

Таблица 1 – Политика управления доступом

Роль	Данные медицинского учреждения	Данные персонала	Данные пациентов	Системные данные
Администратор	Чтение Запись Создание Удаление	–	–	Чтение Запись Создание Удаление
Главный врач	Чтение Запись	Чтение Запись Создание Удаление	Чтение Запись Создание	–
Заместитель главного врача	Чтение	Чтение Запись Создание Удаление	Чтение Запись Создание	–
Заведующий отделением	Чтение	Чтение Запись	Чтение Запись Создание	–
Дежурный врач	Чтение	Чтение	Чтение Запись Создание	–
Врач	Чтение	–	Чтение Запись Создание	–
Медсестра	Чтение	–	Чтение Запись Создание	–

**Заключение.** Важной задачей при проектировании телемедицинской системы является обеспечение гибкого взаимодействия между базой данных и пользователем. Эффективность проектирования телемедицинской базы данных зависит от полноты объектной модели предметной области и соблюдения совокупности требований при её преобразовании в реляционную модель. Защищённость информации в телемедицинской базе данных обеспечивается ролевой политикой управления доступом, основанной на группировке пользователей по ролям, без назначения прав доступа каждому пользователю в отдельности, что характерно для дискреционной модели, и без жёсткой привязки к меткам доступа, что характерно для мандатной модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Булдакова Т.И., Джалолов А.Ш. Анализ информационных процессов и выбор технологий обработки и защиты данных в ситуационных центрах // Научно-техническая информация. Серия 1. 2012. №6. С. 16-22.
2. Анализ информационных рисков виртуальных инфраструктур здравоохранения / Т.И. Булдакова, С.И. Суятинов, Д.А. Миков // Информационное общество. 2013. №4. С. 6.
3. Концептуальная модель виртуального центра охраны здоровья населения / В.С. Анищенко, Т.И. Булдакова, П.Я.

Довгалецкий, В.Б. Лифшиц, В.И. Гриднев, С.И. Суятинов // Информационные технологии. 2009. №12. С. 59-64.

4. Булдакова Т.И., Кривошеева Д.А. Угрозы безопасности в системах дистанционного мониторинга // Вопросы кибербезопасности. 2015. №5. С. 45-50.

5. Булдакова Т.И., Миков Д.А. Методика анализа информационных рисков с применением нейро-нечёткой сети // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2015. №4. С. 13-17.

6. Venkatasubramanian K.K., Banerjee A., Gupta S.K.S. PSKA: Usable and secure key agreement scheme for body area networks // IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 2010. Vol. 14, no 1. Pp. 60-68.

7. Булдакова Т.И., Суятинов С.И. Модельный подход к защите данных в телемедицинских системах // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. №23. С. 85-87.

8. Миков Д.А., Булдакова Т.И., Сюзов В.В., Смирнова Е.В. Анализ методов интеллектуального моделирования информационных процессов в системах дистанционного мониторинга состояния объектов // Проблемы современной науки и образования. 2018. №13 (133). С. 23-27.

9. Миков Д.А. Формирование защищённой экспертной системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2019. №4 (27). С. 79-84.

10. Миков Д.А., Булдакова Т.И., Сюзов В.В., Смирнова Е.В., Бауман Ю.И. Модели оценки защищённости данных в информационно-управляющих системах реального времени // Проблемы современной науки и образования. 2019. №11-1 (144). С. 15-20.

11. Булдакова Т.И., Миков Д.А., Соколова А.В. Управление информационными рисками в телемедицинских системах // Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 2512-2516.

12. Гильманшина А.Л. Анализ литературы и нормативно-правовой базы в области защиты персональных данных // Вестник науки. 2019. Т. 2. №3 (12). С. 13-16.

13. Долматов А.В., Долматов Е.А. Проблемы и особенности правового регулирования защиты персональных данных // Юрист ВУЗа. 2019. №5. С. 13-23.

14. Климов В.А. Как защитить персональные данные в лечебном учреждении // Главврач. 2019. № 4. С. 63-65.

15. Рогова О.С., Добржинская Т.Ю., Фоминова Е.Р. Анализ защищённости распределённых систем и методов тестирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2019. №2. С. 43-45.

16. Гаршина В.В., Степанцов В.А. Способы защиты баз данных от несанкционированного доступа // В сборнике: Информатика: проблемы, методология, технологии. Сборник материалов XIX международной научно-методической конференции. Под ред. Д.Н. Борисова. Воронеж, 2019. С. 683-686.

17. Комилов Х.И., Иванищева А.А., Гехаев М.Д. Эффективность гибридных алгоритмов для защиты баз данных // Инновационная наука. 2019. №3. С. 43-45.

18. Тур Д.Е., Цирулева В.М. Анализ математических методов выявления аномальных SQL-запросов к базам данных // В сборнике: Математические методы управления. Сборник научных трудов. Тверь, 2019. С. 112-126.

19. Солодков А.М., Цирулева В.М. Исследование способов обнаружения аномалий в SQL-запросах к базам данных // В сборнике: Столетие физико-математического образования в Верхневолжском регионе. Сборник научных трудов научной конференции. 2018. С. 109-115.

20. Линник О.В., Галушка В.В. Модель распределённого представления симметричного ключа при сквозном шифровании баз данных // Синергия Наук. 2019. №31. С. 1033-1040.

Статья поступила в редакцию 10.04.2020  
Статья принята к публикации 10.06.2020

УДК 004.932

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0020

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ СЕГМЕНТИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

©2019

**Акинина Александра Владимировна**, аспирант

**Кузнецов Владимир Владимирович**, аспирант

**Никифоров Михаил Борисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ

*Рязанский государственный радиотехнический университет*

*(390005, Россия, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1,*

*e-mails: alexandra.sokolova00@mail.ru, vla8774@gmail.com, nikiforov.m.b@evm.rsreu.ru)*

**Аннотация.** Для решения задач семантической сегментации, как правило, используются сверточные нейронные сети. Известно, что главным недостатком таких сетей является время работы, поэтому в статье была сделана попытка сократить время работы алгоритма, не теряя при этом в качестве. В статье приведено сравнение трех видов алгоритмов Unet, Enet и Segnet для выполнения семантической сегментации. Был сделан вывод о применении сети Unet с предварительным использованием вегетативного индекса. В архитектуре сети Unet блоки свертки заменены блоками пакетной свертки для ускорения работы сети. В качестве нелинейного слоя используется блок relu. Результаты сегментации оцениваются с помощью метрики Intersection Over Union. Рассмотренный алгоритм показал хорошие временные и качественные характеристики.

**Ключевые слова:** сверточные нейронные сети, семантическая сегментация, пакетная свертка, unet, enet, segnet, relu.

## INTELLIGENT SEGMENTATION OF SATELLITE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

©2019

**Akinina Alexandra Vladimirovna**, postgraduate student

**Kuznetsov Vladimir Vladimirovich**, postgraduate student

**Nikiforov Mikhail Borisovich**, PhD, associate professor

*Ryazan State Radioengineering University*

*(390005, Russia, Ryazan, Gagarina st., 59/1,*

*e-mails: alexandra.sokolova00@mail.ru, vla8774@gmail.com, nikiforov.m.b@evm.rsreu.ru)*

**Abstract.** Convolutional neural networks are usually used to solve the problems of semantic segmentation. It is known that the problem is that working on this algorithm does not require any effort. Three types of algorithms Unet, Enet and Segnet are compared to perform semantic segmentation. At the first stage of the algorithm, using the vegetative index, vegetation is distinguished. Box Convolution has replaced convolution blocks to speed up the network. The relu block is used as a non-linear layer. Segmentation results are evaluated using the Intersection Over Union metric. The considered algorithm showed good temporal and qualitative characteristics.

**Keywords:** convolution neuron network, semantic segmentation, box convolution, unet, enet, segnet, relu.

**Введение.** За последние годы были получены впечатляющие результаты в решении задач сегментации изображений различными методами, такими как метод нормальных разрезов [1], применение EM-алгоритмов [2], карты Кохонена [3], использование нейронных сетей [4-7]. Особенно хорошие результаты показывают сверточные нейронные сети (CNN) [8]. Однако эти достижения в части точности не обязательно делают сети более эффективными с точки зрения размера и скорости. Во многих реальных приложениях, таких как робототехника, автомобили с автоматическим управлением и дополненная реальность, задачи распознавания образов должны выполняться своевременно на платформе с ограниченными вычислительными возможностями.

**Материалы и результаты исследований.** Есть набор спутниковых снимков высокого разрешения (B) определенной местности, на которых необходимо выделить области пикселей, относящихся к классам водных объектов, растительности, построек, дорог.

В общем случае задача сегментации сводится к построению разбиения:

$$B = \bigcup B_m^{segm}, m = \overline{1, M},$$

где  $B_m^{segm}$  – сегмент такой, что  $B_m^{segm} \cap B_n^{segm} = \emptyset$ ,  $\forall m, n \in [1, M], m \neq n, \forall B_m^{segm}$  – связанное подмножество B.

**Исходные данные.** Данный алгоритм был разработан для спутниковых снимков, обладающих следующими характеристиками:

1) достаточное разрешение, как правило, таким разрешением является 30...60 метров на пиксель;

2) необходимость наличия следующих спектральных каналов:

- синего (B-(англ.) *blue*, длина волны около 450...515 нм),

- зеленого (G-(англ.) *green*, длина волны около 525...605 нм),

- красного (R-(англ.) *red*, длина волны около 630...690 нм),

- нескольких ближних инфракрасных каналов (*NIR*- (англ.) *near-infrared*, длин волны около 750...1400 нм).

К таким спутниковым снимкам относятся данные, полученные от космического аппарата *Landsat 5* и *Landsat 8*.

**Существующие методы.** Для решения задач семантической сегментации в настоящее время используются сверточные нейронные сети. Для сравнения были выбраны самые распространенные, показавшие высокие результаты на соревнованиях *kaggle*. Реализации моделей этих сетей была опробована с использованием *pyTorch*.

*U-Net* (2015 год) [9], архитектура которого состоит из сжимающихся (для захвата контекста) и расширяющихся (для точной локализации) направлений. К плюсам этого алгоритма можно отнести использование достаточно небольшой обучающей выборки (и меньших затрат по времени) для достижения хорошего результата.

*SegNet* (2017 год) [10] отличается от обычной сверточной сети в том, что слои апсэмплинга информационно соединены с пулинг слоями, то есть апсэмплинг слои не обучаются, а лишь получают информацию, как восстановить сжатые изображения от пулинг слоев, которые хранят индексы активиро-

ванных (с наибольшим значением в окне) пикселей.

*Enet* (2016 год) [11] состоит из блоков *bottleneck*. В отличие от других сетей здесь декодер меньше декодера в связи с тем, что задача выделения признаков более сложная, чем восстановление маски из хороших признаков. Эта модель содержит меньше параметров, что отражается на ее скорости работы.

Реализации моделей этих сетей была опробована с использованием *pyTorch*.

**Алгоритм.** Для существующих подходов разбиение сразу на несколько классов сильно усложняет работу алгоритма, поэтому было принято решение о первоначальном выделении растительности на спутниковом снимке с помощью вегетационного индекса, который имеет фиксированные значения для растительных объектов:

$$ARVI = \frac{NIR - Rb}{NIR + Rb}, Rb = RED - 0.5 * (RED - BLUE),$$

*NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра, *RED*- в красной области, *BLUE* - в голубой.

Спутниковый снимок с выделенной растительностью поступает на вход предварительно обученной нейронной сети, архитектура которой представлена на рисунке 1.

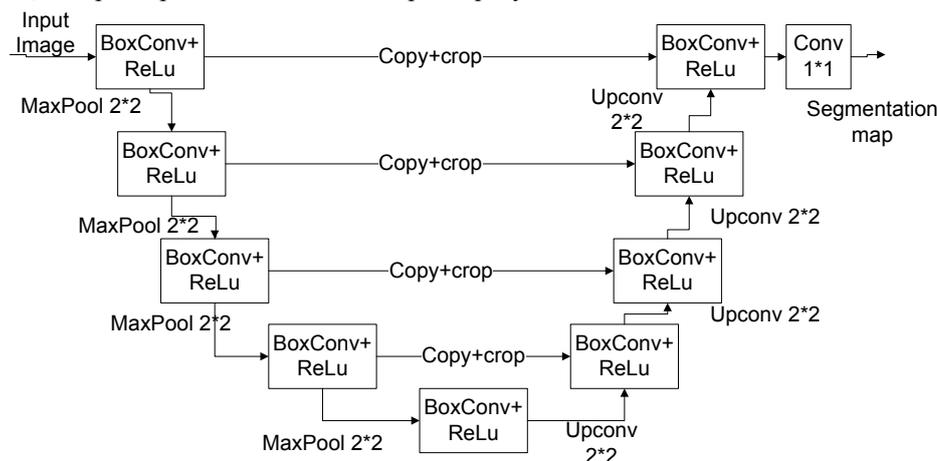


Рисунок 1 - Архитектура нейронной сети

Вместо стандартной свертки применяется пакетная свертка (англ. *Box Convolution*) [12], что значительно сокращает время работы сети. Пакетная свертка основана на «глубинной» свертке (англ. *depthwise convolution*) [13,14] со специальным ядром свертки, которая по некоторому прямоугольнику берет среднее значение. «Глубинная» свертка отличается от обычной свертки тем, что каналы обрабатываются по отдельности, независимо друг от друга. Среднее значение в прямоугольнике вычисляется с помощью интегральной суммы изображения (алгоритм Виолы-Джонса [15]). Для обучения такого прямоугольника нужно всего 4 параметра  $x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max}$ , тогда как для обычной свертки 3\*3 таких параметров 9. Причем разница между максимальным и минимальным значениями параметров больше одного пикселя  $x_{max} - x_{min} > 1pxl, y_{max} - y_{min} > 1pxl$  (). Параметры инициализируются случайным образом, в процессе

обучения прямоугольник меняет положение, ширину, высоту. Ограничения, наложенные на параметры, гарантируются проективным градиентным спуском при использовании *L2*-регуляризации [16].

В качестве нелинейного слоя используется слой *relu*, благодаря которому обучение большой сети происходит за разумное время. Достоинство этого слоя заключается в исключении «насыщенных» нейронов, которые ведут к затуханию градиента.

К входящему изображению применяется *box*-свертка, затем результат поступает на блок *ReLu* и производится операция максимального объединения для понижения разрешения (*maxpool*). Операции *maxpool* позволяют выделять важные особенности на изображении. В отличие от операций свертки на этом этапе происходит лишь выбор максимального значения из заданного окна. Каналы свойств удваиваются на каждом этапе понижающей дискретизации. Карта

свойств в сужающемся направлении получается обрезанной за счет потери граничных пикселей.

В ходе развертывания изображения происходят операции, повышающие дискретизацию карты свойств (стрелки *upconv*). За каждой такой операцией следует объединение с соответствующим образом из обрезанной карты свойств (стрелки *copy+crop*), *box*-свертка (уменьшается количество матриц свойств) с нелинейным блоком *relu*.

На последнем слое необходима свертка 1\*1 для сопоставления каждого вектора свойств с желаемым количеством классов.

Для обучения сети используется метод градиентного спуска.

Граница разделения на классы вычисляется с использованием морфологических операций. Весовые коэффициенты вычисляются по формуле:

$$\omega(x) = \omega_c(x) + \omega_0 \cdot \exp\left(-\frac{(d_1(x) + d_2(x))^2}{2\sigma^2}\right),$$

где  $\omega_c$  – карта весов для балансировки частот классов,  $d_1$  – расстояние до границы ближайшей ячейки,  $d_2$  – расстояние до границы второй ближайшей ячейки.

**Эксперимент.** Для оценки результатов семантической сегментации была использована метрика *Intersection Over Union (IOU)*:

$$IOU = \frac{1}{k} \sum_i \frac{n_{ii}}{t_i - n_{ii} + \sum_j n_{ji}},$$

где  $k$  – количество классов,  $t_i$  число пикселей в классе,  $n_{ii}$  – число верно классифицированных пикселей,  $n_{ji}$  – число неверно классифицированных пикселей.

Было произведено экспериментальное сравнение работы существующих систем, результаты сравнения представлены в таблицах 1 и 2. На рисунке 2 изображены исходный спутниковый снимок и результат работы алгоритма.

Экспериментальное исследование осуществлено на вычислительной системе, имеющей следующие характеристики:

- аппаратная часть: *Intel Core i5-4460X* (частота процессора: 3,2 ГГц; 4 вычислительных ядра), *Nvidia GeForce GTX 950*, 8 гигабайт *DDR3* ОЗУ;
- программная часть: операционная система *Linux (Ubuntu)*.

Таблица 1 – Метрики моделей

Модель	Среднее IOU	IOU вода	IOU растительность	IOU дороги	IOU постройки
<i>UNet</i>	0,795	0,91	0,76	0,62	0,89
<i>SegNet</i>	0,78	0,9	0,73	0,6	0,88
<i>ENet</i>	0,792	0,89	0,78	0,61	0,89
<i>NewUnet</i>	0,87	0,91	0,87	0,8	0,9

Таблица 2 – Время обучения и работы в секундах

Модель	Время обучения, с	Время работы, с
<i>UNet</i>	8,0	0,14
<i>ENet</i>	4,2	0,03
<i>SegNet</i>	6,7	0,1
<i>NewUnet</i>	4,1	0,01



Рисунок 2 - Исходный спутниковый снимок и результат работы алгоритма

**Заключение.** Рассмотренный алгоритм показал лучшие по сравнению с известными алгоритмами временные и качественные характеристики. В дальнейшем планируется работа по изменению внутренней структуры нейронной сети для улучшения качества работы алгоритма.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Akinina A.V., Nikiforov M.B., Savin A.V. Multiscale Image Segmentation using Normalized Cuts in Image Recognition on Satellite Images // 7 Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2018). - Montenegro, Budva. - 2018. - pp. 312-314.
2. Akinin M.V., Akinina A.V., Tarasov A.S., Sokolov A.V. Application of EM algorithm in problems of pattern recognition on satellite images // 6 Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2017). - Montenegro, Bar. - 2017. - pp. 175-178.
3. Sokolova (Akinina A.V.), Akinin M.V., Nikiforov M.B., Taganov A.I. Image segmentation algorithm based on self-organized Kohonen's neural maps and tree pyramidal segmenter // 4rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2015). - Montenegro, Budva. - 2015. - pp. 168 - 170.
4. Акинина Н.В., Акинин М.В., Соколова(Акинина) А.В., Никифоров М.Б., Таганов А.И. Автоэнкодер: подход к понижению размерности векторного пространства с контролируемой потерей информации // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. №9. – С. 3-12.
5. Акинина Н.В., Акинин М.В., Соколова(Акинина) А.В., Никифоров М.Б., Колесенков А.Н. Методы и алгоритмы фильтрации разнородных помех с применением систем искусственного интеллекта в задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. – С. 12-19.
6. Кузнецов В.В. Интеллектуальный метод построения

двумерных карт местности, основанный на использовании ансамбля классификаторов // Наука и бизнес: пути развития – 2019 №8 (98). – С. 72-76.

7. Акинин М.В., Никифоров М.Б., Таганов А.И. Нейросетевые системы искусственного интеллекта в задачах обработки изображений. - М.: Горячая линия — Телеком. - 2015. - 154 с.

8. L.-C. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, and A. L. Yuille. Deeplab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs. T-PAMI, 40(4):834–848, 2018.

9. O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // 2015. — Vol. abs/1505.04597. —1505.04597.

10. V. Badrinarayanan, A. Kendall, R. Cipolla SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation // 2016. . — Vol. abs/1511.00561. – 1511.00561.

11. A. Paszke, A. Chaurasia, S. Kim, E. Culurciello ENet: A Deep Neural Network Architecture for Real-Time Semantic Segmentation// 2016. — Vol. abs/1606.02147. —1606.02147.

12. Burkov E., Lempitsky V. Deep neural networks with box convolutions //Advances in Neural Information Processing Systems. – 2018. – С. 6211-6221.

13. F. Chollet. Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. Proc. CVPR, pp.1251–1258, 2017.

14. F. Chollet. Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. Proc. CVPR, pp.1251–1258, 2017.

15. P. Viola, M. J. Jones, and D. Snow. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance. IJCV, 63(2):153–161, 2005.

16. L.-C. Chen, A. Schwing, A. Yuille, and R. Urtasun. Learning deep structured models. Proc. ICML, pp. 1785–1794, 2015.

*Статья поступила в редакцию 28.03.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0021

## РАЗРАБОТКА ВЕСОВОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПРОГНОЗА ФУТБОЛЬНЫХ МАТЧЕЙ

©2020

**Журавлев Александр Александрович**, студент,

**Рубин Олег Ильич**, студент,

**Аксенов Константин Александрович**, кандидат технических наук, доцент,

*Уральский Федеральный Университет им. Б. Н. Ельцина, ИРИТ РмФ*

*(г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 32,*

*e-mails: SanyaProgrammer2503@gmail.com, olegrubin97@gmail.com, k.a.aksenov@urfu.ru)*

**Аннотация.** В последнее время повысился интерес к прогнозированию событий в самых разных социальных областях. Очевидно, что для составления реалистического прогноза необходимо располагать специализированным алгоритмом, учитывающим множество влияющих факторов. В данной статье предложен весовой алгоритм прогнозирования результатов футбольных матчей, по которому для численной оценки ожидаемого исхода матча определенным факторам присваиваются весовые значения. Основными критериями для прогнозирования тех или иных показателей выбраны статус команды (домашний или гостевой), а также давность матча по отношению к прогнозируемому (чем раньше состоялся матч, тем меньший весовой коэффициент ему присваивается). Для анализа показателя берутся последние пятнадцать матчей команд, участвующих в прогнозируемом матче. Если текущий статус команды домашний, то матчи, в которых данная команда была домашней, имеют весовое значение 0,7, а гостевые – 0,3. Аналогичные показатели применяются и к гостевой команде (прошедшие гостевые матчи имеют весовой коэффициент 0,7, а домашние – 0,3). Давность матчей разделена на три категории: недавний (весовой коэффициент равен 0,5), матчи средней давности (весовой коэффициент – 0,3) и поздний (весовой коэффициент – 0,2). Показана работа данного алгоритма на конкретном матче. В качестве анализируемого показателя выбрано количество голов, которые могут забить команды. Анализ возможного количества забитых голов каждой из команд проведен с помощью присвоения весовых коэффициентов текущему статусу команд и давности анализируемых матчей. Получены данные, которые соответствуют реальности. Для оценки точности предложенного метода проведен анализ тысячи прошедших матчей. Сделаны выводы о корректности работы описанного метода. Корректным считается алгоритм, точность которого не меньше 80%. Исходя из полученного значения точности ( $81,2\% \geq 80\%$ ), можно сделать вывод, что предложенный метод прогнозирования является корректным.

**Ключевые слова:** прогнозы, весовой алгоритм, футбольные матчи, точность алгоритма

## DEVELOPMENT OF WEIGHT ALGORITHM FOR FORECAST OF FOOTBALL MATCHES

© 2020

**Zhuravlev Alexander Alexandrovich**, student,

**Rubin Oleg Ilyich**, student,

**Aksenov Konstantin Aleksandrovich**, candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

*Ural Federal University named after B. N. Yeltsin, IRIT RTF*

*(Yekaterinburg, Mira St., 32,*

*e-mails: SanyaProgrammer2503@gmail.com, olegrubin97@gmail.com, k.a.aksenov@urfu.ru)*

**Abstract.** Recently, interest in forecasting events in various social fields has increased. Obviously, to make a realistic forecast it is necessary to have a specialized algorithm that takes into account many influential factors. This article proposes a weighted algorithm for predicting the results of football matches, according to which weighting values are assigned to certain factors to numerically evaluate the expected outcome of the match. The main criteria for predicting certain values are the status of the team (home or away), as well as the match age of the match relative to the predicted one (the earlier the match took place, the lower the weight coefficient is assigned to it). In the article, the main criteria for predicting certain values are the status of the team (home or away), as well as the prescription of the match (the earlier the match took place, the greater the weight coefficient) in relation to the predicted one. For the analysis of the value, the last fifteen matches of the teams participating in the predicted match are taken. If the current status of the team is home, then matches in which this team was home have a weighted coefficient of 0,7, and guest ones – 0,3. Similar values apply to the guest team (past guest matches have weight coefficient of 0,7, while home matches have weight of 0,3). The prescription of matches is divided into three categories: recent (weighting coefficient is 0,5), medium-old matches (weighting coefficient – 0,3) and late matches (weighting coefficient – 0,2). The work of this algorithm on a specific match is shown. As the analyzed value, the number of goals the teams can score is chosen. An analysis of the possible number of goals scored by each team was carried out by assigning weights to the current status of the teams and the prescription of the analyzed matches. Received data correspond to reality. To estimate the accuracy of the proposed method, an analysis of thousands of past matches was carried out. Conclusions are drawn about the correct work of the described method. An algorithm is considered correct if its accuracy is at least 80%. Based on the obtained accuracy value ( $81,2\% \geq 80\%$ ), it can be concluded that the proposed forecasting method is correct.

**Keywords:** forecasts, weighting algorithm, football matches, algorithm accuracy.

**Введение.** Прогнозы являются очень популярным явлением. Предсказывать можно практически любые события: погоду, спортивные мероприятия, экономические показатели и пр. Для того чтобы иметь правильные прогнозы, необходимо наличие алгоритма, способного предоставлять корректные прогнозы на то или иное событие.

В данной статье описан алгоритм, позволяющий получить прогнозы на события, представляющие собой футбольные матчи. Для корректной работы метода необходимо вычислить его точность.

**Целью** данной статьи является разработка алгоритма для корректных прогнозов футбольных матчей.

В качестве **материала исследования** выступают матчи футбольных команд.

В статье используется эмпирический метод исследования, поскольку основным источником результатов являются сравнение и эксперимент.

**Результаты и их обсуждение.** В данной статье в качестве анализируемого события выбраны футбольные матчи, поскольку спортивные мероприятия пользуются большой популярностью.

Для предсказания корректных исходов на футбольные игры необходима разработка алгоритма, позволяющего осуществить данный процесс.

Алгоритм будет заключаться в следующем:

1. В качестве субъектов анализа выступают команды (домашняя и гостевая), проводящие матч.

2. Для анализа рассматриваются последние 15 матчей каждой из команд (домашней и гостевой).

3. Выбирается конкретный показатель для анализа (количество забитых голов, число желтых карточек или количество поданных углов той или иной командой).

4. В зависимости от временной близости последних игр к анализируемому матчу, присваиваются весовые коэффициенты: чем раньше матчи состоялись по отношению к анализируемой игре, тем больше весовой коэффициент имеет футбольная игра. В данной статье матчи будут разбиты на 3 категории: недавние матчи (последние 5 матчей команды по отношению к анализируемому матчу), матчи средней давности (последние 5 матчей по отношению к недавним матчам) и поздние матчи (5 матчей которые имеют более раннюю дату проведения по сравнению с другими матчами). Недавние матчи будут иметь весовой коэффициент 0,5, матчи средней давности – 0,3, а поздние матчи – 0,2 ( $0,5 + 0,3 + 0,2 = 1,0$ ). Данные весовые коэффициенты выбраны на основе эксперимента, проведенного в разделе «Оценка точности весового алгоритма».

5. Также большое влияние играет статус команды в текущем матче (домашняя или гостевая команда), поэтому матчи, в которых статус команды был такой же, как и в анализируемой игре, имеют больший весовой коэффициент. Для домашней команды в анализируемом матче больший вес имеют матчи, в которых статус команды был домашним, а для

гостевой команды – гостевым. Пусть для домашней команды весовой коэффициент прошедших домашних матчей равен 0,7, а гостевых – 0,3. А для гостевой команды анализируемого матча, наоборот, прошедшие гостевые матчи имеют вес 0,7, а домашние – 0,3. Данные весовые коэффициенты выбраны на основе эксперимента, проведенного в разделе «Оценка точности весового алгоритма».

6. Выбранный показатель рассчитывается по формуле (1), которая представлена ниже.

Назовем выше описанный метод Весовым алгоритмом прогнозирования футбольных матчей.

Блок-схема описанного алгоритма представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схема Весового алгоритма

Введем формулу, позволяющую вычислить тот или иной показатель (количество ударов по воротам соперника, забитые голы и пр.) футбольного матча:

$$PM = BK_{ДС} * (BV_{НМ} * CG_{НДМ} / K_{НДМ} + BK_{СМ} * CG_{СДМ} / K_{СДМ} + BK_{ПМ} * CG_{ПДМ} / K_{ПДМ}) + BK_{ГС} * (BV_{НМ} * CG_{НГМ} / K_{НГМ} + BK_{СМ} * CG_{СГМ} / K_{СГМ} + BK_{ПМ} * CG_{ПГМ} / K_{ПГМ}) \quad (1)$$

где  $PM$  – показатель матча,  $BK$  – весовой коэффициент,  $CG$  – сумма голов,  $K$  – количество матчей,

ДС – домашний статус ГС – гостевой статус, НМ – недавние матчи, НДМ – недавние домашние матчи, НГМ – недавние гостевые матчи, СМ – матчи средней давности, СДМ – домашние матчи средней давности, СГМ – гостевые матчи средней давности, ПМ – поздние матчи, ПДМ – поздние домашние матчи, ПГМ – поздние гостевые матчи.

**Проверка работы алгоритма на анализе футбольного матча.** Проведем анализ возможного количества забитых голов домашней и гостевой командами. Для изучения показателя используем матч Барселона (домашняя команда) – Borussia Dortmund (гостевая команда), состоявшегося 27 ноября 2019 года и завершившегося со счетом 3-1 в пользу Барселоны. Для анализа используем последние 15 матчей каждой из команд. В таблицах 1 и 2 приведено количество мячей забитых каждой из команда за указанный промежуток времени (последние 15 матчей). Данные по матчам брались с официальных сайтов Барселоны [19] и Borussia Dortmund [20].

Таблица 1 – Количество голов, забитых домашней командой (Барселоной) в последних 15 матчах

Дата матча	Соперник	Статус команды в матче	Количество забитых мячей	Давность матча
23.11.2019	Леганес	Г	2	Недавний
09.11.2019	Сельта Виго	Д	4	Недавний
05.11.2019	Славия Прага	Д	0	Недавний
02.11.2019	Леванте	Г	1	Недавний
29.10.2019	Вальядолид	Д	5	Недавний
23.10.2019	Славия Прага	Г	2	Средняя давность
19.10.2019	Эйбар	Г	3	Средняя давность
06.10.2019	Севилья	Д	4	Средняя давность
02.10.2019	Интер Милан	Д	2	Средняя давность
28.09.2019	Хетафе	Г	2	Средняя давность
24.09.2019	Вильярреал	Д	2	Поздний
20.09.2019	Гранада	Г	0	Поздний
17.09.2019	Borussia Dortmund	Г	0	Поздний
14.09.2019	Валенсия	Д	5	Поздний
30.09.2019	Осасуна	Г	2	Поздний

Примечание: Д – рассматриваемая команда имеет статус домашней команды, Г – команда является гостевой.

Используя формулу (1), получаем следующее количество голов для каждой из команд:

$$КГД \text{ (количество голов домашней команды)} = 0,7*(0,5*(4+0+5)/3 + 0,3*(4+2)/2 + 0,2*(2+5)/2) + 0,3*(0,5*(2+1)/2 + 0,3*(2+3+2)/3 + 0,2*(0+0+2)/3) = 2.645.$$

$$КГГ \text{ (количество голов гостевой команды)} = 0,3*(0,5*(3+3+3)/3 + 0,3*(1+2)/2 + 0,2*(0+4)/2) + 0,7*(0,5*(0+0)/2 + 0,3*(0+2+2)/3 + 0,2*(2+1+3)/3) = 1.505.$$

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что домашняя команда забьет не менее 2 голов (2 и более), а гостевая команда минимум 1 мяч.

Как видно, полученные результаты КГД и КГГ соответствует действительности, поскольку Барселона (домашняя команда) забила 3 мяча (что не меньше

2 голов), а Borussia Dortmund – 1 мяч (что не меньше 1 гола).

Таблица 2 – Количество голов, забитых гостевой командой (Borussia Dortmund) в последних 15 матчах

Дата матча	Соперник	Статус команды в матче	Количество забитых мячей	Давность матча
22.11.2019	Падерборн	Д	3	Недавний
09.11.2019	Бавария Мюнхен	Г	0	Недавний
05.11.2019	Интер Милан	Д	3	Недавний
02.11.2019	Вольфсбург	Д	3	Недавний
26.10.2019	Шальке	Г	0	Недавний
23.10.2019	Интер Милан	Г	0	Средняя давность
19.10.2019	Borussia Mönchengladbach	Д	1	Средняя давность
05.10.2019	Фрайбург	Г	2	Средняя давность
02.10.2019	Славия Прага	Г	2	Средняя давность
28.09.2019	Вердер	Д	2	Средняя давность
22.09.2019	Айнтрахт	Г	2	Поздний
17.09.2019	Барселона	Д	0	Поздний
14.09.2019	Байер	Д	4	Поздний
30.08.2019	Юнион Берлин	Г	1	Поздний
23.08.2019	Кельн	Г	3	Поздний

**Оценка точности весового алгоритма прогнозирования футбольных матчей.** Для проверки корректной работы алгоритма необходимо оценить его точность. А для этого необходимо оценить его работу на гораздо большем количестве матчей.

Условимся называть корректным такой алгоритм, точность которого не меньше 80%.

Для оценки точности алгоритма проведен анализ 1000 матчей с уже известными результатами. Оценивалось количество забитых голов. Пусть, полностью предсказанный матч имеет вес 1,0, частично спрогнозированный (предсказано верно количество голов только одной из команд) – 0,5, а полностью неугаданный – 0,0. Кроме этого, будем изменять весовые значения коэффициентов для давности матчей и статуса команды (домашняя и гостевая), чтобы показать, что присвоенные ранее весовые коэффициенты, выдают наилучшую точность прогноза. В таблице 3 представлены результаты анализа.

Точность алгоритма имеет следующую формулу:

$$TA = (BK1 * ПП + BK2 * ЧП + BK3 * НП) / ОК \quad (2)$$

где TA – точность алгоритма, BK1 – весовой коэффициент полностью предсказанных матчей, ПП – количество предсказанных матчей, BK2 – весовой коэффициент частично предсказанных матчей, ЧП – число частично предсказанных матчей, BK3 – весовой коэффициент неудачно предсказанных матчей, НП – число неудачно предсказанных матчей, ОК – общее количество проанализированных матчей.

Получаем:

$$\begin{aligned}
 TA1 &= (1,0 * 673 + 0,5 * 278 + 0,0 * 49) / 1000 = 0,812; \\
 TA2 &= (1,0 * 604 + 0,5 * 324 + 0,0 * 72) / 1000 = 0,766; \\
 TA3 &= (1,0 * 612 + 0,5 * 328 + 0,0 * 60) / 1000 = 0,776; \\
 TA4 &= (1,0 * 564 + 0,5 * 344 + 0,0 * 92) / 1000 = 0,736; \\
 TA5 &= (1,0 * 640 + 0,5 * 298 + 0,0 * 62) / 1000 = 0,789.
 \end{aligned}$$

Наилучшим показателем обладает эксперимент с весовыми коэффициентами:  $BK_{ДС} = 0,7$ ,  $BK_{ГС} = 0,3$ ,  $BK_{НМ} = 0,5$ ,  $BK_{СМ} = 0,3$ ,  $BK_{ПМ} = 0,2$ . Данный эксперимент обладает точность 0,812, что больше чем 0,8 (80%). Поскольку точность алгоритма превышает 80%, то его можно считать корректным.

Таблица 3 – Оценка точности Весового алгоритма прогнозирования матчей

№	$BK_{ДС}$	$BK_{ГС}$	$BK_{НМ}$	$BK_{СМ}$	$BK_{ПМ}$	Полностью предсказанные матчи	Частично предсказанные матчи	Неудачно предсказанные матчи	Общее количество матчей
1	0,7	0,3	0,5	0,3	0,2	673	278	49	1000
2	0,8	0,2	0,5	0,3	0,2	604	324	72	1000
3	0,6	0,4	0,4	0,4	0,2	612	328	60	1000
4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,1	564	344	92	1000
5	0,7	0,3	0,4	0,3	0,3	640	298	62	1000

**Заключение.** Для того чтобы иметь правильные прогнозы, необходимо наличие алгоритма, способного предоставлять корректные прогнозы на то или иное событие.

В данной статье предложен весовой алгоритм прогнозирования футбольных матчей, который основан на присвоение весовых значений тем или иным показателям, например статусу команды в матче (гостевая или домашняя команда).

Для демонстрации работы предложенного алгоритма проведен анализ конкретного матча, в котором в качестве анализируемого показателя взято возможное количество забитых голов каждой из команд. Результат анализа можно считать удовлетворительным, поскольку полученное количество забитых голов каждой из команд практически соответствует реальности.

Для корректности работы данного алгоритма проведен анализ 1000 матчей, в которых обоснован выбор весовых коэффициентов для давности матчей и статуса команды. Точность алгоритма для лучшего случая составила 0,812, что превышает 80%. Поэтому предложенный метод можно считать корректным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Клейнберг, Дж., Тардос Е. Алгоритмы: разработка и применение. Классика Computers Science / Пер. с англ. Е. Матвеева. — СПб.: Питер, 2016. — 800 с.
2. Бхаргава А. Грожаем алгоритмы. Иллюстрированное пособие для программистов и любопытствующих. - СПб.: Питер, 2017. - 288 с.
3. Хайнеман, Джордж, Пояяис, Гэри, Сеяков, Стэнли. Алгоритмы. Справочник с примерами на C, C++, Java и Python, 2-е изд.: Пер. с англ. — СПб.: ООО «Альфа-книга», 2017. — 432 с.
4. Седжвик, Роберт, Уэйн, Кевин. Алгоритмы на Java, 4-е изд.: Пер. с англ. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. — 848 с.
5. Лафоре Р. Структуры данных и алгоритмы в Java. Классика Computers Science. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 704 с.
6. Алгоритмы на C++/ Р. Седжвик — М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. - 1001 с.
7. Паронджанов В. Д.. Учись писать, читать и понимать алгоритмы. Алгоритмы для правильного мышления. Основы оптимизации. — М.: ЛМК Пресс, 2012. — 520 с.

8. Дасгупта С. Алгоритмы / С. Дасгупта, Х. Пападимитриу, У. Вазирани; Пер. с англ. под ред. А. Шеня. — М.: МЦНМО, 2014. — 320 с.

9. Основы теории прогнозирования [В Интернете] // URL: <https://forecasting.svetunkov.ru/etextbook/about/>

10. Статистика и анализ футбольных команд [В Интернете] // URL: <https://nb-bet.com/Teams>

11. Футбольная статистика [В Интернете] // URL: <https://allsportlinks.net/statistic>

12. Подборка алгоритмов, которые правят миром [В Интернете] // URL: <https://tproger.ru/translations/algorithms-ruling-world/>

13. Как лучше всего изучать алгоритмы [В Интернете] // URL: <https://tproger.ru/tag/algorithms/>

14. Какие алгоритмы должен знать уважающий себя программист [В Интернете] // URL: <https://tproger.ru/experts/7/>

15. Jeff Erickson. Algorithms [В Интернете] // URL: <http://jeffe.cs.illinois.edu/teaching/algorithms/>

16. Algorithms, 4th Edition [В Интернете] // URL: <https://algs4.cs.princeton.edu/home/>

17. Jason Brownlee. Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes [В Интернете] // URL: <http://www.cleveralgorithms.com/nature-inspired/index.html>

18. Steven S. Skiena. The Algorithm Design Manual [В Интернете] // URL: <http://www8.cs.umu.se/kurser/TDBAfl/VT06/algorithms/BOOK/BOOK/BOOK.HTM>

19. FC Barcelona | Official website [В интернете] // URL: <https://www.fcbarcelona.com/en/>

20. Borussia Dortmund [В интернете] // URL: <https://www.bvb.de/>

Статья поступила в редакцию 23.04.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020

УДК 624.071.22:531.011

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0022

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ГИБКОЙ НИТИ

© 2020

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

**Большаков Герман Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Компьютерное проектирование технологического оборудования»  
*Пензенский государственный университет*  
(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40, e-mails: den517375@ya.ru, geraman83@mail.ru)

**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: kononov-penza@rambler.ru)

**Ирышков Алексей Михайлович**, магистрант кафедры  
«Компьютерное проектирование технологического оборудования»  
*Пензенский государственный университет*  
(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40)

**Аннотация.** Предметом исследования настоящей работы является изучение напряженно-деформированного состояния гибкой нити под действием поперечной кратковременной динамической нагрузки при наличии конструктивной нелинейности, вызванной односторонними связями. Рассматривается задача об изменении расчетной схемы в процессе работы гибкой нити. Возникающее изменение вызвано смещением опор крепления от внешнего воздействия, в свою очередь приводящее к изменению параметров диаграммы работы внешних связей. Исследования проведены с помощью предложенного метода, основанного на теории математического моделирования с использованием аппарата дифференциального и интегрального исчисления функций одной и нескольких переменных, численных методах, а также, положениях сопротивления материалов. Проведена оценка степени влияния конструктивной нелинейности на напряженно-деформированное состояние гибкой нити. Выявлена значительная обусловленность возникающих напряжений и деформаций от типа модели внешних связей. Эффективность применения конкретного типа модели внешних связей, позволяющая получить максимальный эффект, связанный со снижением величины определенного параметра напряженно-деформированного состояния гибкой нити, зависит от диаграммы работы выбранной модели. Односторонние связи в отличие от шарнирно-неподвижных опор имеют более высокий уровень демпфирования, поэтому предлагается использовать их в качестве элементов по отбору и поглощению энергии.

**Ключевые слова:** напряжения, деформации, гибкая нить, конструктивная нелинейность, динамическая нагрузка.

## ESTIMATION OF INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE NONLINEARITY IN MODELING FLEXIBLE THREAD OPERATION

© 2020

**Tarasov Denis Aleksandrovich**, candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department of Automated Security Systems

**Bolshakov German Sergeevich**, candidate of technical sciences, associate professor,  
associate professor of the chair "Computer-aided design of technological equipment"  
*Penza State University<sup>1</sup>*  
(440026, Russia, Penza, Krasnaya St., 40, e-mails: den517375@ya.ru, geraman83@mail.ru)

**Kononov Vladimir Viktorovich**, doctor of Technical Sciences,  
Professor, Professor of the Department "Engineering Technology"  
*Penza State Technological University<sup>2</sup>*  
(440039, Russia, Penza, Baidukova passage / Gagarina St., 1a / 11, e-mail: kononov-penza@rambler.ru)

**Iryshkov Alexey Mikhailovich**, undergraduate of the department  
"Computer-aided design of technological equipment"  
*Penza State University*  
(440026, Russia, Penza, Krasnaya St., 40)

**Annotation.** The subject of this work is the study of the stress-strain state of a flexible thread under the action of a transverse short-term dynamic load in the presence of structural non-linearity caused by one-way connections. The problem of changing the design scheme during the operation of a flexible thread is considered. The resulting change is caused by the displacement of the mounting supports from external influence, which in turn leads to an adjustment of the parameters of the diagram of external links. The research was carried out using the proposed method based on

the theory of mathematical modeling using the apparatus of differential and integral calculus of functions of one and several variables, numerical methods, as well as the positions of the resistance of materials. The degree of influence of structural non-linearity on the stress-strain state of a flexible thread is estimated. A significant dependence of the resulting stresses and deformations on the type of external relations model is revealed. The effectiveness of applying a specific type of external link model, which allows you to get the maximum effect associated with reducing a certain parameter of the stress-strain state of a flexible thread, depends on the diagram of the selected model. One-way connections have a higher level of damping relative to fixed-joint supports, so it is proposed to use them as elements for energy selection and absorption.

**Keywords:** stress, strain, flexible thread, structural non-linearity, dynamic load.

**Введение.** Целью настоящей работы является разработка метода, учитывающего внезапное изменение расчетной схемы гибкой нити, подверженной воздействию поперечной кратковременной динамической нагрузки. Вместе с тем при помощи разработанного метода необходимо провести оценку влияния возникающего изменения на напряженно-деформированное состояние (НДС) исследуемой механической системы.

Учет изменения расчетной схемы в процессе деформирования имеет место в задачах конструктивной нелинейности. В ходе выполнения расчета таких задач меняется тип внешних связей [1, 2]. Конструктивная нелинейность характерна для механических систем, имеющих технологические зазоры. Так при моделировании поведения системы в процессе приложения нагрузки, чтобы внешняя связь включилась в работу, зазор должен быть предварительно выбран. Примером может служить конструкция, при достижении определенной величины перемещения некоторой ее точкой, возникает контакт этой точки с опорой. Характерным конструктивным решением, представленным на рисунке 1, является узел по организации пассивного зацепа штыря, расположенного на конце стрелы противотаранного шлагбаума, в горизонтальном пазе силовой опоры [3, 4, 5].

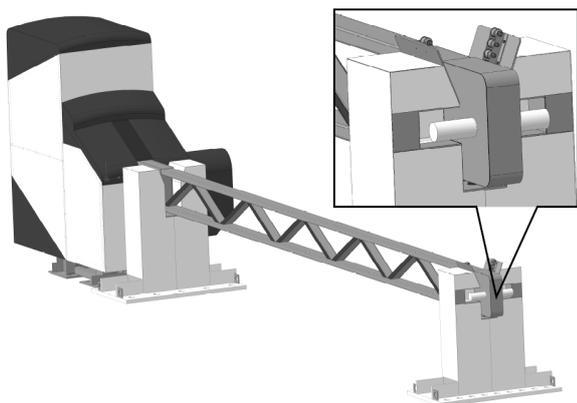


Рисунок 1 - Пример конструктивного решения односторонней связи с учетом выбора зазора

При попытке несанкционированного проезда транспортным средством, первой деформируется стрела барьера, совершая при этом кинематическое перемещение по выбору зазора до момента возникновения контакта штыря с горизонтальным пазом, расположенным на силовой опоре противотаранного

шлагбаума. После чего происходит полное разрушение верхнего и нижнего профилей стрелы барьера, при этом в работу по восприятию ударной нагрузки включаются стальные канаты, расположенные внутри них. Вместе с тем следует отметить, что для стальных канатов расчетной схемой является гибкая нить.

**Материалы и методы исследования.** Моделирование конструктивной нелинейности для рассматриваемых элементов, таких как гибкие нити, обеспечивается применением односторонних связей, работающих только на растяжение [6, 7].

Модель внешней связи характеризуется диаграммой работы, определяющей зависимость между горизонтальным смещением опоры  $u$  и усилием, необходимым для реализации данного смещения. В нашем случае таким усилием является распор  $H$  – горизонтальная составляющая тяжения гибкой нити. В свою очередь диаграмма работы задается в виде кусочно-линейной функции, так как с помощью нее можно аппроксимировать любую кривую.

Таблица 1 - Типы моделей внешних связей

Тип модели внешней связи	Условное обозначение	Диаграмма работы
Шарнирно-неподвижная опора.		
Односторонняя связь с учетом выбора зазора. Работает на растяжение после выбора зазора равного $u_{max}$ .		
Односторонняя упругая связь. Работает на растяжение до «бесконечности» с жесткостью равной $H/u$ .		
Односторонняя связь с учетом предельного усилия. Работает на растяжение до предельного усилия равного $H_{max}$ .		

Из таблицы 1 видно, что в результате действия произвольной нагрузки на гибкую нить, изменение параметров модели внешней связи может быть скачкообразным, таким как для односторонних связей с

учетом выбора зазора или предельного усилия, либо непрерывным, как для односторонней упругой связи.

Представленные в таблице 1 модели внешних связей являются частным случаем более общего вида нелинейной функции смещения опоры  $u(H)$  от внешнего воздействия. При этом данная функция должна максимально отражать диаграмму реальной опоры при различных стадиях работы несущей конструкции. Механическую характеристику следует задавать таким образом, чтобы единичное линейное

перемещение совершенное требуемым усилием было равно жесткости существующей опоры. Численные значения основных параметрических точек диаграммы работы внешней связи необходимо принимать на основании экспериментальных данных.

Рассмотрим в общем виде гибкую нить, расчетная схема которой представлена на рисунке 2, учитывающая смещение опор расположенных на разных уровнях, а также исходное равновесное состояние, вызванное действием собственного веса [8, 9]

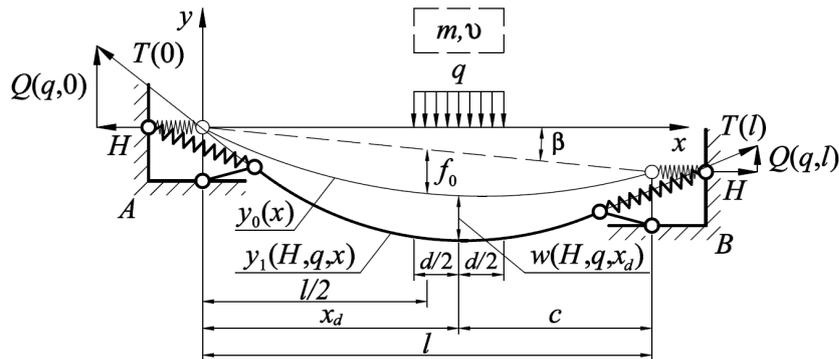


Рисунок 2 - Расчетная схема гибкой нити:  
— начальное состояние линии равновесия;  
— конечное состояние линии равновесия

Моделирование работы гибкой нити под действием поперечной кратковременной динамической нагрузки сводится к решению системы, полученной в работах [8, 11] и состоящей из уравнения принципа сохранения энергии и условия неразрывности деформаций:

$$\begin{cases} \Delta \left( \frac{m \cdot v^2}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \int_{x_d - \frac{d}{2}}^{x_d + \frac{d}{2}} w(H, q, x) dx \\ L_0 = \Delta L(H, q) = L_1(H, q) \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – масса ударяющего тела, кг;  $v$  – скорость ударяющего тела, м/с;  $q$  – поперечная кратковременная динамическая нагрузка, Н/м;  $x_d$  – абсцисса центра зоны контакта, м;  $d$  – ширина зоны контакта, м;  $w(H, q, x)$  – функция прогиба, м;  $H$  – распор, Н;  $x$  – текущая абсцисса ( $0 \leq x \leq l$ ), м;  $l$  – пролет, м;  $L_0$  – начальная длина, м;  $\Delta L(H, q)$  – упругая деформация, м;  $L_1(H, q)$  – конечная длина, м.

Для нахождения неизвестных, входящих в параметры функций, запишем выражения по определению всех членов уравнений, составляющих систему (1).

Прогиб является функцией от абсциссы сечения гибкой нити и численно равен разности ординат конечной и начальной линии равновесия в рассматриваемом сечении:

$$w(H, q, x) = y_1(H, q, x) - y_0(x) \quad (2)$$

где  $y_1(H, q, x)$  – ордината сечения конечной линии равновесия, вызванная действием поперечной кратковременной динамической нагрузки, м;  $y_0(x)$  – ордината сечения начальной линии равновесия от собственного веса, м.

Функция конечной линии равновесия, вызванная действием поперечной кратковременной динамичес-

кой нагрузки, определяется по формуле:

$$y_1(H, q, x) = \frac{M(q, x)}{H} + x \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (3)$$

где  $M(q, x)$  – функция изгибающего момента в шарнирно опертой балке пролетом  $l$  от внешнего воздействия, Н\*м;  $\beta$  – угол наклона хорды  $AB$ , соединяющей точки крепления, град.

Функция начальной линии равновесия, вызванная действием собственного веса, может быть аппроксимирована с достаточной степенью точности в виде параболы:

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

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

Внутренние усилия при изгибе в однопролетной шарнирно опертой балке определяются следующим образом [12, 16]:

$$\begin{aligned} Q(q, x) &= \frac{q \cdot d \cdot c}{l} \cdot (x \geq 0) - \\ &- q \cdot \left[ x - \left( x_d - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left( x > x_d - \frac{d}{2} \right) + \\ &+ q \cdot \left[ x - \left( x_d + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left( x > x_d + \frac{d}{2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} M(q, x) &= \frac{q \cdot d \cdot c}{l} \cdot x \cdot (x \geq 0) - \\ &- q \cdot \frac{\left[ x - \left( x_d - \frac{d}{2} \right) \right]^2}{2} \cdot \left( x > x_d - \frac{d}{2} \right) + \\ &+ q \cdot \frac{\left[ x - \left( x_d + \frac{d}{2} \right) \right]^2}{2} \cdot \left( x > x_d + \frac{d}{2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

где  $c$  – расстояние от центра зоны контакта до опоры В, м.

Длина дуги кривой между точками крепления равна первоначальной длине гибкой нити и вычисляется по формуле [17, 18]:

$$L_0 = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dx} y_0(x)\right)^2} dx \quad (7)$$

В работах [12, 14, 16] получено уравнение, по определению упругих деформаций, основанное на законе Гука:

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

где  $E$  – модуль упругости, Па;  $A$  – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>.

Конечная длина равна [12]:

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

где  $u(H)$  – функция смещения опор, м.

После того как определены все члены уравнений системы (1), появляется возможность решить ее одним из численных методов, например методом Левенберга-Марквардта.

Как только найдены искомые параметры функций, а именно распор  $H$  и поперечная кратковременная динамическая нагрузка  $q$ , несложно определить продольное усилие, возникающее в сечениях по длине гибкой нити [10, 16]:

$$T(x) = \sqrt{H^2 + (Q(q, x) + H \cdot tg \beta g^2)} \quad (10)$$

В свою очередь гибкая нить способна сопротивляться только растяжению, а жесткость при кручении и изгибе отсутствует, поэтому уравнения по определению главных напряжений имеют вид [8, 14]:

$$\sigma_1(x) = \frac{T(x)}{A}; \sigma_2(x) = \sigma_3(x) = 0 \quad (11)$$

Общая последовательность моделирования НДС гибкой нити под действием поперечной кратковременной динамической нагрузки при наличии конструктивной нелинейности отражена на рисунке 3 в виде блок-схемы.

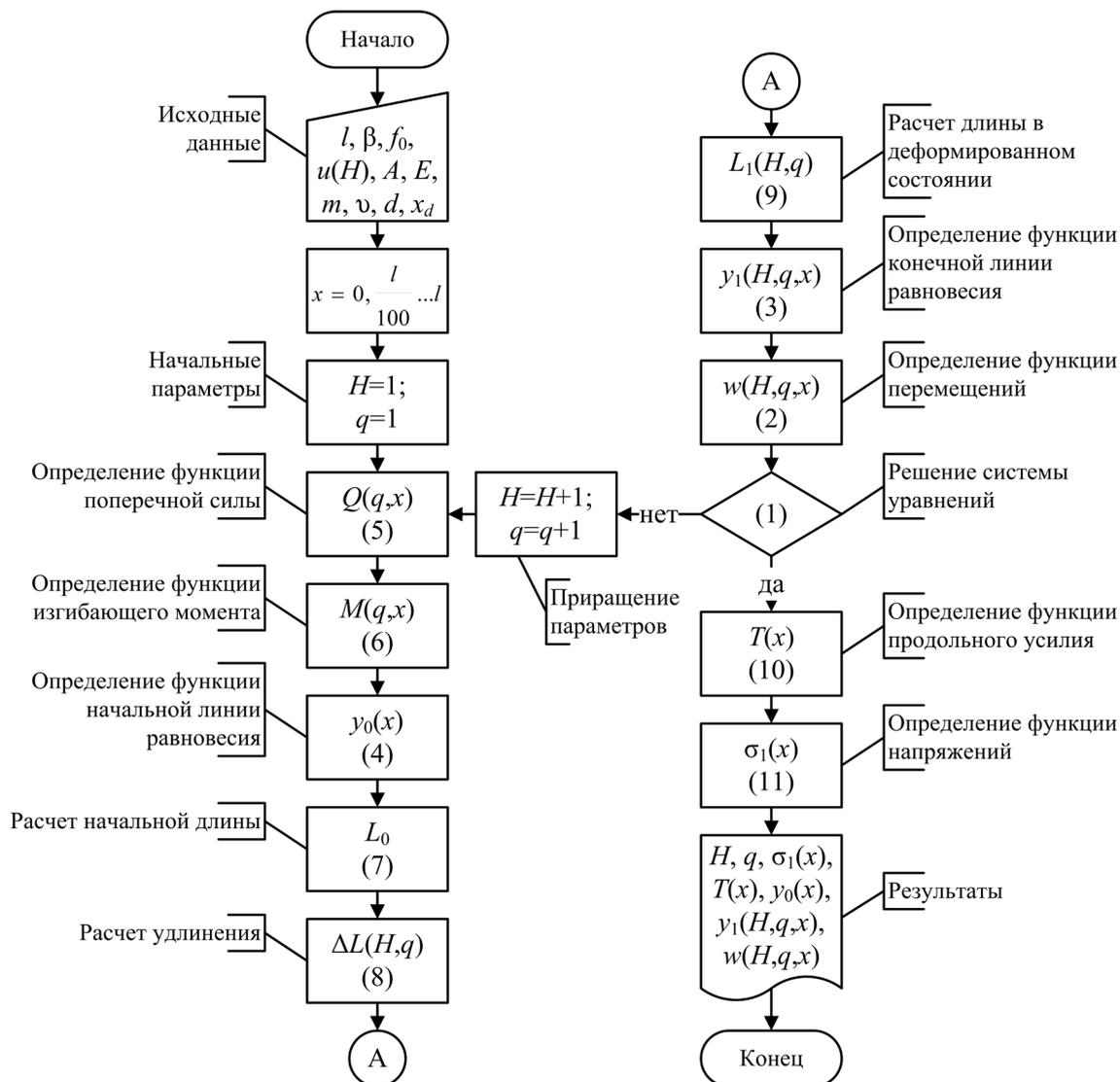


Рисунок 3 - Блок-схема моделирования НДС гибкой нити

**Результаты исследования.** В качестве объекта исследования рассмотрим, испытывающую горизонтальный поперечный удар, гибкую нить (стальной канат) пролетом  $l=8$  м (ширина перекрываемого проезда шлагбаумом), сечением  $A=2,31638 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, выполненную из материала с модулем упругости  $E=147051,9$  МПа и пределом прочности на разрыв  $\sigma_B=1350$  МПа, первоначально прямолинейную  $f_0=0$  м с опорами, расположенными на одном уровне  $\beta=0$  град. Масса ударяющего тела (транспортного средства)  $m=4000$  кг (ГАЗель *NEXT*). Ширина зоны взаимодействия  $d=1$  м. Центр зоны взаимодействия совпадает с серединой пролета гибкой нити  $x_d=4$  м.

С целью проведения сравнительного анализа, решим ряд задач для указанных в таблице 1 типов моделей внешних связей гибкой нити с заданными физическими и геометрическими характеристиками, при разной величине динамической нагрузки, а именно скорости ударяющего тела.

Для получения обобщающих выводов, рассчитанные при проведенном исследовании, значения напряжений, деформаций и поперечной кратковременной динамической нагрузки, приведем к следующему безразмерному виду:

- коэффициент использования прочности сечения  $k_{\max} = \frac{\sigma_1(l)}{\sigma_B}$  ;
- относительный прогиб  $f = \frac{w(H, q, l/2)}{l} \cdot 100\%$  ;
- коэффициент динамичности  $k_d = \frac{q \cdot d}{g \cdot m}$  [11, 19].

На рисунке 4 представлены графики изменения коэффициента использования прочности максимально нагруженных (приопорных) сечений гибкой нити. Из сопоставления графиков видно, что применение односторонних упругих связей или связей с учетом выбора зазора в качестве граничных условий, приводит к значительному снижению расчетных значений максимальных растягивающих напряжений в сечениях гибкой нити при увеличивающейся динамической нагрузке.

Необходимо отметить, что разрыв гибкой нити с шарнирно-неподвижными опорами происходит уже при скорости ударяющего тела равной  $v=10,75$  м/с, что почти в 3 раза ниже той скорости, при которой растягивающие напряжения в материале гибкой нити с опорами, выполненными в виде односторонних связей, достигают предела прочности на разрыв.

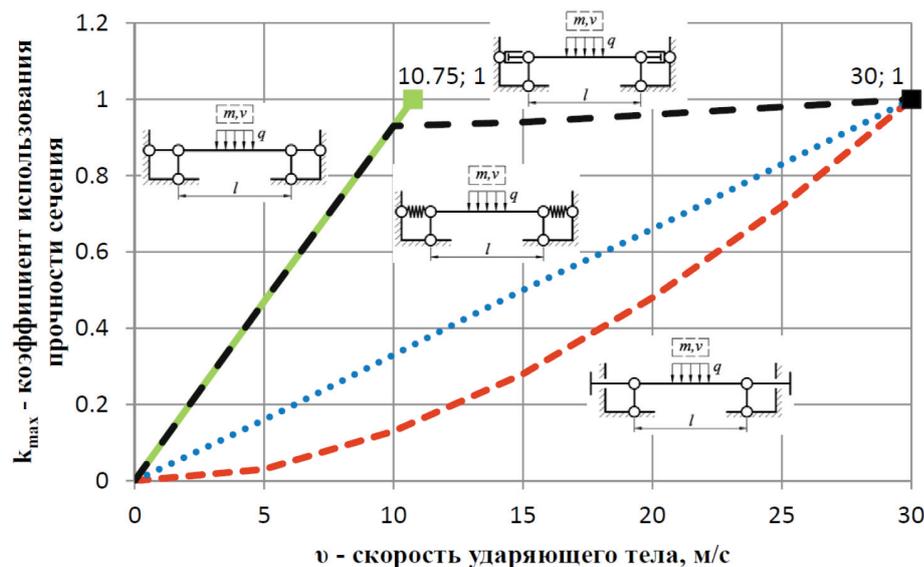


Рисунок 4 - Графики изменения коэффициента использования прочности сечения

На рисунке 5 представлены графики изменения относительного прогиба в середине пролета гибкой нити. Анализ графиков показывает, что при использовании односторонних связей в качестве опор крепления, деформативность гибкой нити возрастает. При этом следует отметить, что основной рост величины относительного прогиба происходит за счет кинематических перемещений, вызванных смещением опор крепления. Так для гибкой нити с опорами, выполненными в виде односторонних связей с учетом выбора зазора, в первоначальный момент удара, вся величина относительного прогиба, равная 17,46 %, обусловлена изменением положения линии равновесия гибкой нити. В дальнейшем с увеличением динамической нагрузки, рост величины относительного

прогиба с 17,46 % до 19,3 % происходит только за счет упругих деформаций в материале гибкой нити.

На рисунке 6 представлены графики изменения коэффициента динамичности, показывающего во сколько раз поперечная кратковременная динамическая нагрузка, возникающая в результате удара горизонтально движущимся телом, больше, чем нагрузка при статическом приложении веса того же тела. Из графиков видно, что применение односторонних связей при прочих равных условиях позволяет снизить коэффициент динамичности. Это связано с возрастающей деформативностью гибкой нити.

На рисунке 7 представлены графики смещения опор при изменении динамической нагрузки для всех типов моделей внешних связей из таблицы 1.

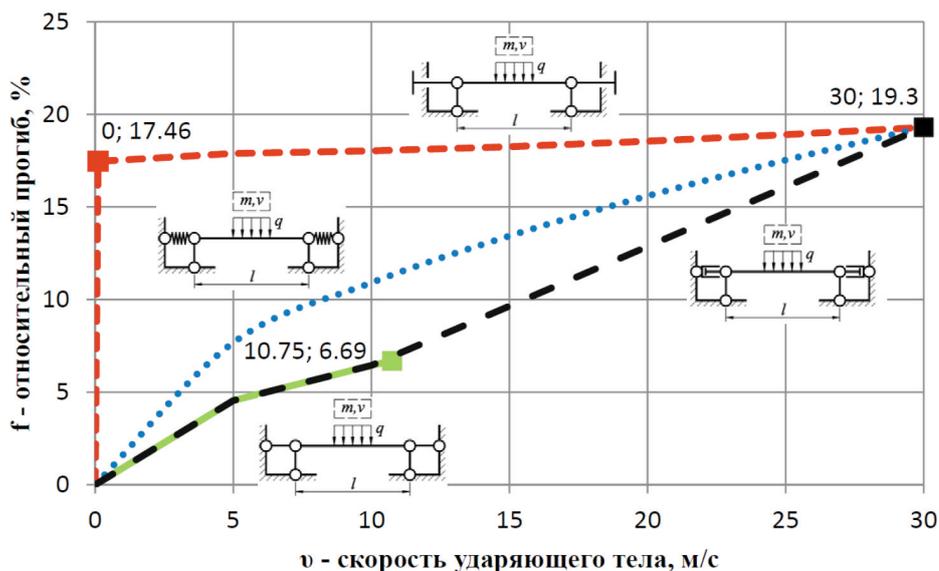


Рисунок 5 - Графики изменения относительного прогиба

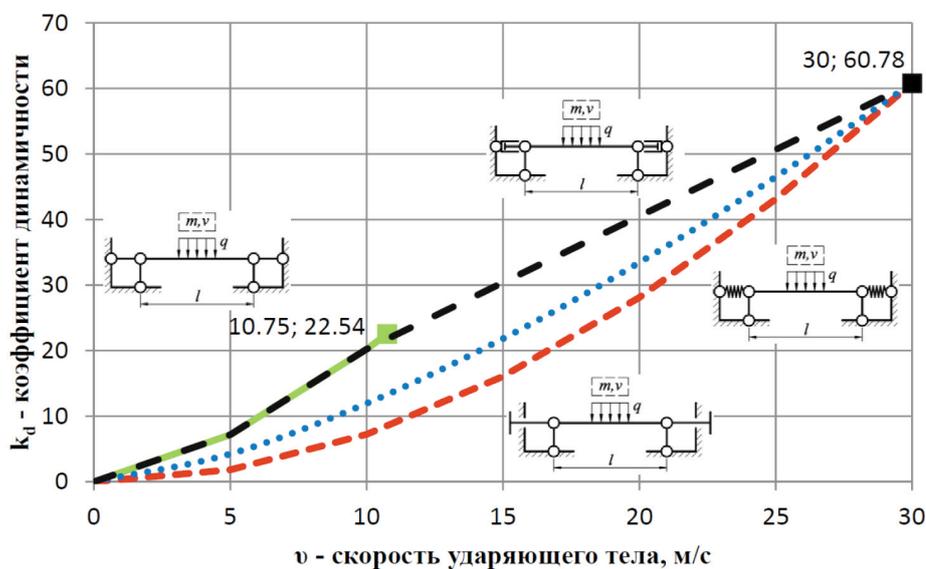


Рисунок 6 - Графики изменения коэффициента динамичности

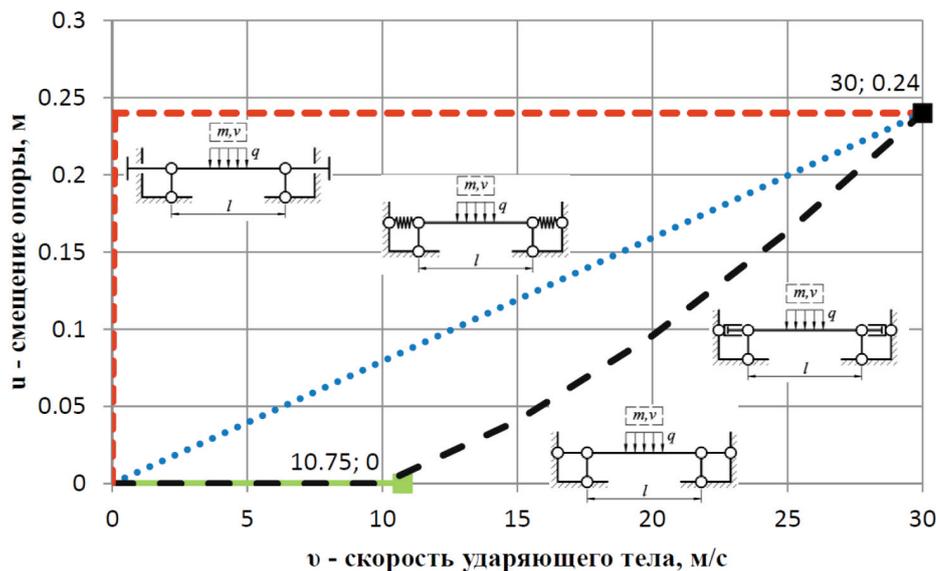


Рисунок 7 - Графики изменения смещения опоры

**Заключение.** На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что эффективность применения конкретного типа модели внешней связи зависит от диаграммы ее работы. Наибольший эффект, связанный со снижением деформаций, включающих кинематические перемещения, достигается в гибкой нити, имеющей точки крепления в виде односторонних связей с учетом предельного усилия. В свою очередь применение в виде граничных условий односторонних связей с учетом выбора зазора, вызывает максимальный эффект связанный со снижением нормальных напряжений, возникающих в сечениях гибкой нити.

Установлено что, в целом односторонние связи в отличие от шарнирно-неподвижных опор имеют более высокий уровень демпфирования, поэтому предлагается использовать их в качестве элементов по отбору и поглощению энергии в конструкциях, расчетной схемой которых является гибкая нить, работающая по восприятию поперечной кратковременной динамической нагрузки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Городецкий, А.С. Конструктивная нелинейность. Односторонние связи. Проблемы реализации / А.С. Городецкий, Д.А. Городецкий, А.В. Пикуль // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2016. – Т. 12, № 3. – С. 35-39.
2. Масленников, А.М. Исследование влияния конструктивной нелинейности на колебания конструкций при сейсмическом воздействии / А.М. Масленников // Вестник гражданских инженеров. – 2005. – № 1(2). – С. 32-36.
3. Тарасов, Д.А. Конструкция защитного сооружения от удара для железнодорожных поездов / Д.А. Тарасов, В.В. Коновалов, В.Ю. Зайцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1 (18). – С. 111-117.
4. Патент на изобретение №2621774 РФ. Противотаранный барьер / П.А. Косяков, Д.А. Тарасов, Н.А. Ша-лашилин, О.Л. Шаповал. – 2015145382; заявл. 21.10.2015; опубл. 07.06.2017, Бюл. №16. – 11 с.
5. Патент на изобретение №2694376 РФ. Противотаранные откатные ворота / А.А. Кодоров, Д.А. Тарасов, Г.С. Большаков, И.В. Васильев, О.Л. Шаповал. – 2019102145; заявл. 24.12.2018; опубл. 12.07.2019, Бюл. №20. – 12 с.
6. Люминарский, И. Е. Метод расчета линейных систем, ограниченных односторонними связями, при статическом нагружении / И.Е. Люминарский, С.Е. Люминарский // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машино-строение». – 2009. – № 2. – С. 84-90.
7. Кумпяк, О.Г. Динамическая прочность и деформативность наклонных сечений сжато-изгибаемых железобетонных конструкций на податливых опорах. / О.Г. Кумпяк, Н.В. Мещеулов, Я.С. Люлевич // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 6. – С. 150-159.
8. Тарасов, Д.А. Комплекс программ моделирования работы стальных канатов при действии поперечной динамической нагрузки / Д.А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 02 (24). – С. 48-55.
9. Кужахметова, Э.Р. Методы расчета вант и вантовых конструкций / Э.Р. Кужахметова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – №2. – С. 39-48.
10. Тарасов, Д.А. Комплекс программ моделирования напряженно-деформированного состояния стальных канатов / Д.А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12 (16). – С. 114-120.
11. Tarasov, D. Mathematical modeling of deformations of flexible threads under their dynamic loading in the zone of material plasticity / D. Tarasov, V. Kononov, V. Zaitsev, Yu. Rodionov // IOP Conf. Series: Journal of Phys-ics: Conf. Series. 2019. № 1278-012014.
12. Поляков, Ю.С. Торможение тележки канатного спуска натяжением каната / Ю.С. Поляков, Ю.В. Ванаг, А.В. Барис // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – Том 7, №1. – С. 128-136.
13. Потапов, А.Н. Динамический расчет подкрановой фермы при конструктивно нелинейной работе ее элементов / А.Н. Потапов, Н.А. Зямбаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 26-31.
14. 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.
15. Горячев, М.П. Методика контроля механических параметров воздушных линий электропередачи на основе улучшенного инклинометрического метода. / М.П. Горячев, М.Ф. Садыков, Д.А. Ярославский // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – №21(3). – С. 160-171.
16. Тарасов, Д.А. Параметрическая оптимизация стальных канатов при действии поперечного удара / Д.А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 02 (24). – С. 56-62.
17. Очков, В.Ф. Новый способ решения симметричной и асимметричной задачи о цепи с грузом, или лекция для великих математиков / В.Ф. Очков, А.Е. Тарасов, К.А. Орлов, Е.С. Науменко, Г.М. Липкин, Е.В. Никульчев // Cloud of Science. – 2019. – Т. 6. №4. – С. 530-549.
18. Tarasov, D. Mathematical modeling of the stress-strain state of flexible threads with regard to plastic deformations / D. Tarasov, V. Kononov, V. Zaitsev, Yu. Rodionov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018. № 1084-012008.
19. 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.
20. 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.

Статья поступила в редакцию 07.05.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020

УДК 004.67

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0023

## АЛГОРИТМ БЕЗОПАСНОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ОБЛАЧНЫМИ СЕРВИСАМИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA

© 2020

**Мартышкин Алексей Иванович**, кандидат технических наук,  
доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы»

**Коростелев Александр Владимирович**, аспирант кафедры «Информационные технологии и системы»

*Пензенский государственный технологический университет  
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11,  
e-mails: alexey314@yandex.ru , bezpaniki@hotmail.com)*

**Аннотация.** Статья посвящена рассмотрению некоторых вопросов, связанных с разработкой алгоритма безопасной обработки больших данных облачными сервисами с помощью технологий Big Data. Сегодня обработка больших объемов данных является одной из наиболее актуальных задач. В ходе проведенных работ в статье предложен алгоритм, который позволяет осуществлять обработку больших объемов данных посредством набора инфраструктурных облачных сервисов. Алгоритм позволяет обрабатывать данные из пользовательских защищенных источников, без хранения какой-либо информации после процесса обработки. Он имеет возможность быть встроенным в инфокоммуникационные сети, формируя подсистему виртуального частного облака. Достаточно подробно описаны решенные при написании статьи задачи: проанализирована предметная область аналитики больших данных и облачных систем; выбраны объекты и компоненты инфраструктуры алгоритма для разработки и исследования; спроектирована архитектура процессов алгоритма; выбраны публичный облачный провайдер Amazon Web Services и сервисы для реализации алгоритма; наконец, разработан и протестирован алгоритм на инфраструктурных сервисах Amazon Web Services. Описанная в статье реализация системы является легко масштабируемой облачной распределенной вычислительной системой. Это позволяет использовать отдельные инфраструктурные элементы как сервис. Таким образом, алгоритм позволяет безопасно обрабатывать большие данные, затем выгружая их в хранилища любой заданной защищенности: как облачные, так и местные. Алгоритм обладает гибкими возможностями трансформации и применения как в публичных, так и в гибридных и кросспровайдерных облачных структурах разных уровней защищенности. Предложенная его реализация позволяет оперативно развертывать облачную инфраструктуру.

**Ключевые слова:** алгоритм, безопасность, большие данные, инфраструктура, масштабируемость, маршрутизация, нереляционная база данных, облачная система, облачные сервисы, реляционная база данных.

## ALGORITHM FOR SECURE PROCESSING OF BIG DATA BY CLOUD SERVICES USING BIG DATA TECHNOLOGIES

© 2020

**Martyshkin Alexey Ivanovich**, candidate of technical sciences,  
docent, associate Professor of sub-department «Computers and systems»

**Korostelev Alexander Vladimirovich**, postgraduate of sub-department  
«Information technologies and systems»

*Penza state technological University  
(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11,  
e-mails: alexey314@yandex.ru , bezpaniki@hotmail.com)*

**Abstract.** The article deals with some issues related to the development of an algorithm for secure processing of big data by cloud services using Big Data technologies. Today, processing large amounts of data is one of the most urgent tasks. In the course of this work, the article proposes an algorithm that allows processing large amounts of data through a set of infrastructure cloud services. The algorithm allows you to process data from user-protected sources, without storing any information after the processing process. It can be embedded in infocommunication networks, forming a virtual private cloud subsystem. Sufficient detail is resolved when writing objectives: analyzed the subject area of big data Analytics and cloud systems; selected objects and infrastructure components of algorithm development and research; designed the architecture of the processes of the algorithm; the chosen public cloud provider Amazon Web Services and services for the implementation of the algorithm; finally, developed and tested the algorithm on infrastructure Amazon Web Services. The system implementation described in this article is an easily scalable cloud distributed computing system. This allows you to use individual infrastructure elements as a service. Thus, the algorithm allows you to safely process big data, then uploading it to storage of any given security: both cloud-based and local. The algorithm has flexible capabilities for transformation and application in both public and hybrid and cross-platform cloud structures of different security levels. The proposed implementation allows you to quickly deploy cloud infrastructure.

**Keywords:** algorithm, security, big data, infrastructure, scalability, routing, non-relational database, cloud system, cloud services, relational database.

**Введение.** В современном мире обработка больших объемов данных является одной из наиболее актуальных задач. С ростом информатизации процессов и развитием инфокоммуникационных технологий растет также количество передаваемых и обрабатываемых данных. По результатам исследования около 89% опрошенных ИТ-специалистов назвали использование *Big Data* столь же важным, как и появление Интернет [1]. Параллельно с обработкой информации встает и вопрос её защиты [2]. Безопасность остается одним из главных препятствий при внедрении облачных структур, так необходимых при анализе *Big Data* [1]. Несмотря на увеличивающуюся долю *Big Data* в инвестиционных кампаниях крупных корпораций, научных трудов, связанных с решениями *Big Data* не так много. Большинство материалов представлено на английском языке в зарубежных источниках. Технические материалы и передовые наработки по реализации в наиболее полном виде представлены документацией продуктов крупных компаний, продукты которых создаются для решения подобных задач. Перспективным видится создание простых в пользовании систем аналитики больших данных, доступных пользователям без необходимости изучения сложных технических аспектов. Шагом вперед в этом направлении являются публичные облачные сервисы, которые позволяют использовать продукты на высоком уровне абстракции от технических процессов, обладают исчерпывающей и доступной для понимания документацией, а также просты в настройке.

**Целью** работы является определение стека технологий для построения процесса безопасной обработки больших данных, определение необходимых компонентов для него, в том числе среди облачных сервисов: публичных и частных. Для достижения указанной цели требуется решить ряд задач: исследовать предметную область; определить требования к алгоритму; исследовать имеющиеся наработки и практики; определить объекты и компоненты архитектуры для реализации алгоритма, исходя из требований; определить возможность применения различных облачных сервисов; реализовать алгоритм и протестировать сценарий несанкционированного доступа к инфраструктурным компонентам. При построении архитектуры алгоритма стоит учесть перспективы его применения не только в рамках конкретной задачи, но и готового к последующему использованию технологии в других вычислительных системах.

**Материалы исследования.** Для лучшего понимания рассматриваемой проблематики, необходимо понимать предмет исследования и его область применения. Разработка алгоритма велась в рамках построения архитектуры *Business Intelligence* системы для мониторинга и контроля ИТ-инфраструктуры крупных корпораций в соответствии с концепцией *ITSM (IT Service Management)*. Чтобы

иметь прозрачность показателей использования ИТ-инфраструктуры, приходится обрабатывать большие объемы данных об утилизации, стоимости и ряде других метрик, поступающих с ресурсов. В результате этого появилась необходимость использования современных подходов в разработке технических решений. Ключевым процессом в системе загрузки данных является *Extract Transformation Load (ETL)* процесс [3]. Задаваясь вопросом, будут ли предполагаемые потоки данных «большими данными», необходимо понять, что подразумевает использование данного термина. Несмотря на то, что термин был введен еще в 2008 году Клиффордом Линчем, четкого определения он не дал [4]. Для понимания термина принято использовать три основных принципа больших данных (три V): *Volume* (объем), *Velocity* (скорость), *Variety* (разнообразие) [5].

Как подмечено в работе [6], взрывной рост объемов данных и неспособность традиционных методов аналитики справиться с лавинообразным увеличением поступающей информации связаны с увеличивающейся информатизацией бизнес-процессов и накапливающимися данными, с которыми пользователи и аналитики просто не знали, что делать. Объемы данных увеличивались, но не развивалась теория информации, что привело к тому, что потребность во взаимодействии с появляющимися данными образовалась раньше теоретических возможностей её реализации. Только спустя время проблема больших данных переросла в парадигму и подход к их обработке и аналитике, которые наряду с облачными сервисами на сегодняшний день не только взаимосвязаны – сейчас работа с большими данными практически невозможна без облачных хранилищ и вычислений. Одним из главных преимуществ облачных сервисов является возможность предоставления сервисов на разных уровнях абстракции от физического управления ресурсами (рис.1).



Рисунок 1 – Уровни абстракции над облачной инфраструктурой

Нижний уровень абстракции предполагает использования инфраструктуры как сервиса (*Infrastructure as a Service, IaaS*). Такая модель сравнима с использованием локальных ресурсов, с той разницей что ресурсы физически находятся у провайдера [7]. Провайдером облачной услуги может быть как ИТ-департамент компании в случае развертывания частного облака. Такая форма взаимодействия – пуб-

личное облако. Более высоким уровнем абстракции является предоставление платформы как сервиса (*Platform as a Service, PaaS*). Это означает, что существует возможность управлять элементами ИТ-инфраструктуры, не вдаваясь в тонкости настройки, а просто приобретая готовые решения по требованию. Самый верхний уровень абстракции – программное обеспечение как сервис (*Software as a Service, SaaS*). Пользователь получает полноценное программное обеспечение, скрывающее под собой облачную архитектуру и инфраструктуру. Из трех моделей предоставления облачных сервисов наиболее применимой в контексте алгоритма может быть *IaaS* модель либо *PaaS* платформы с возможностью изменением конфигурации машин.

Отметим, что облачные структуры могут быть частными, разворачиваемыми в локальных датацентрах, в публичном облаке (*Public Cloud*) или гибридом облаке (*Hybrid Cloud*). Частное облако предполагает автоматизацию процессов использования ИТ-ресурсов внутри компании, когда пользователи заказывают ресурсы, а их предоставление и оплата происходит автоматически. Положительной особенностью использования частного облака является полная его изоляция, и вследствие этого возможность поддержки критически высокого уровня требований безопасности. Также ресурсы могут быть незначительно более производительными, так как центры обработки данных (ЦОД) компаний находится недалеко от пользователей. Частные облака можно сконфигурировать по требованию пользователя.

Гибкость и оперативная адаптация инфраструктуры на изменения нагрузки, так что в любой момент времени ресурсы отвечают требованиям спроса настолько, насколько возможно, называется эластичностью мощностей [8]. В области обработки больших данных эластичность вычислительных мощностей и хранилищ крайне необходима, так как она удовлетворяет по двум из трех требований к работе с *Big Data – Volume и Velocity*.

Эластичные облачные хранилища могут использоваться для накопления и хранения разнородных и увеличивающихся объемов данных. Такие легко доступные эластичные репозитории, в которых данные хранятся в натуральном неструктурированном формате, и объем которых можно легко и оперативно увеличивать, называются даталейки (*Data Lake*) [9]. Эластичные вычислительные мощности могут обеспечивать оперативную обработку больших объемов данных. Так как количество вычислительных мощностей может подстраиваться под нужды загрузки, возможно обеспечить быструю загрузку и обработку данных в системе на кластере распределенных серверов.

**Анализ функциональных требований.** Разумно полагать, что одним из начальных вопросов, возникающих при проектировании алгоритмов работы *ETL* систем, является вопрос к свойствам данных, которые нужно обрабатывать: их размеру, механизму и фор-

мату загрузки, а также требованиям безопасности, выдвигаемым к подсистеме. Для начала, стоит оценить объемы данных, поступающих в систему. Так как разработка алгоритма велась при создании системы мониторинга ИТ-загрязнений, стоит оценить количество обрабатываемых данных. Алгоритм обработки должен иметь минимальную зависимость от объема поступающих данных и должен позволять оперативно обрабатывать постоянно увеличивающиеся объемы данных, либо должен подразумевать возможность масштабирования в зависимости от желания пользователя.

Механизм и формат загрузки должны описывать выкачку данных из источника информации. В системе мониторинга и отчетности об ИТ-инфраструктуре данные могут поступать как постоянным потоком, так и в консолидированном виде архивов данных за временной промежуток и агрегированные по подразделению организации.

Алгоритм обработки больших объемов данных должен иметь возможность обеспечения общих корпоративных требований безопасности. Подсистема должна предусматривать возможность установки дополнительных мер безопасности, таких как выгрузка данных из защищенных источников, разрывание каналов связи источника и целевой БД, отсутствие промежуточных звеньев между источником данных и целевой БД, которые могли бы хранить данные, а также другие возможности повышения уровня безопасности.

Основными функциональными требованиями к алгоритму обработки являются: возможность масштабирования инфраструктуры; оперативность обработки данных; обеспечение требований безопасности.

**Результаты исследования.** Приступая к проектированию алгоритма, нужно понимать, какие практики уже были предприняты для обработки больших данных. Одно из наиболее расхожих определений больших данных – разнородные данные большого объема, которые невозможно обработать привычными способами [6]. Стало быть, методика обработки данных в *Big Data* системах принципиально отличается от привычных способов дата-процессинга. Для проектирования компонентов обработки будем исходить из наличия трех стадий обработки: извлечение данных, трансформация и загрузка внутрь системы.

В мире *Big Data* есть наиболее расхожий стек технологий, формируемый внутри экосистемы компании *Apache*. Этот стек технологий и подходов объединяет в себе программные компоненты для процессов работы с большими данными и называется *Apache Hadoop*. Несмотря на широкую распространенность и поддержку сообществом, иногда эти технологии накладывают ограничения на ресурсы. Например, в ходе проработки было выяснено, что файловая система *Hadoop Distributed File System – HDFS* отбирает часть ресурсов вычислительной машины, поэтому ее использование не всегда

оправдано при необходимости высоких нагрузок. Поэтому было принято решение взять за основу компоненты и идеологию *Hadoop* и адаптировать её под свои нужды для наилучшей оптимизации.

Начнем с выбора инфраструктурных объектов для алгоритма на каждой из стадий *ETL* процесса. Ввиду того, что большие данные относительно недавно вошли в стадию активной проработки и реализации, физических инфраструктурных компонентов для реализации *Big Data* систем не так много.

Первой стадией *ETL* процесса является *Extract* – извлечение данных из источника-хранилища. Как было отмечено, распространенной формой хранения данных являются даталейки, у которых, однако, есть разные режимы работы: базовый даталейк, холодный даталейк, глейсер данных, датасвоп. При выборе хранилища для исходных данных стоит выбирать между обычным либо холодным даталейком и избегать попадания в режим свомпа. Конкретный режим работы необходимо выбирать исходя из понимания того, как стоит поступать с данными после их обработки. Если они должны оставаться в исходном хранилище и реплицироваться в систему, то разумнее использовать холодный даталейк [10].

Далее для реализации алгоритма обработки следует изучить стадию трансформации данных. Одной из главных проблем приложений, ориентированных на обработку больших данных, является вычислительная сложность процессов. Как было показано выше, необходимо учитывать постоянно растущие объемы поступающих данных, но важно понимать, что требования к вычислительным мощностям линейно возрастают по отношению к объемам [11]. Традиционная схема клиент-серверной архитектуры приложений с одним сервером – обработчиком не подойдет по причине слабой его масштабируемости. Отдельное улучшение вычислительных компонентов одного сервера видится намного сложнее, нежели создание параллельного процесса обработки большого объема данных между несколькими вычислительными ресурсами [3]. Такие кластеры серверов с контейнерами приложений внутри и используются в практике работы с *Big Data*. Кластером серверов могут управлять различные приложения, обеспечивающие эффективное управление нагрузками на сервера, распределение задач и легкость абстракции над машинами. Для трансформации данных исследуемым алгоритмом применяется кластер эластичных серверов. Это позволит эффективнее использовать вычислительные мощности, а также писать разнообразные приложения для задач трансформации данных. Такой подход сделает алгоритм более гибким и откроет возможности для использования его в дальнейшем для многих систем работы с большими данными.

После трансформации данных необходимо загрузить их в систему. Традиционные практики использования реляционных баз данных и *SQL* здесь также не подходят ввиду низкой скорости доступа

к данным и сложности работы с комплексными многообразными данными. Альтернативой является использование парадигмы *Not only SQL (NoSQL)*. *NoSQL* базы данных являются распределенными, нереляционными, разработанными для работы с большими хранилищами данных и распределением параллельных потоков работы с данными на нескольких серверах [12]. Распределенные базы данных подразумевают возможность использования нескольких машин под управлением одного сервера БД, подобно кластеру вычислительных машин обработчика данных, а также отделять хранилище от машин-обработчиков запросов. Отказ от реляционной модели БД значит использование связей по иным моделям СУБД нежели первичные ключи к целым таблицам. Это могут быть модели «ключ-значение», графовые модели, документоориентированные СУБД и модели семейства столбцов [13] (рис. 2).

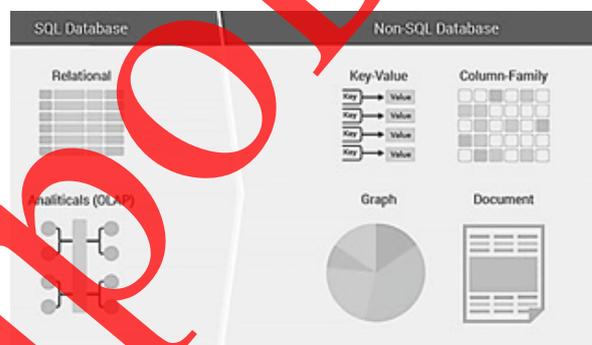


Рисунок 2 – Сравнение подходов к моделям данных в реляционных и нереляционных СУБД

Это позволяет поддерживать высокую разделяемость колонок и, как следствие, горизонтально масштабировать базы данных [12]. Стоит отметить, что *ETL* системе необязательно загружать данные в одну БД. Нереляционные базы данных хорошо подходят для оперативной выгрузки объемов данных, однако поиск конкретных значений лучше удастся традиционным решениям БД, поэтому в случае необходимости частой работы с точными значениями данных, рекомендуется использовать реляционные БД. Одним из наиболее частых применений реляционных БД в системах больших данных является управление пользовательскими данными [12]. В таких случаях использования выстраивается гибридная архитектура из нереляционной БД и реляционной, оперирующей малым объемом данных. Такие архитектуры наиболее оперативно производят операции с данными. Сетевые нагрузки также должны быть по возможности оптимизированы. Так как система обработки больших данных должна обладать возможностью встраивания в корпоративные сети, одним из образующих компонентов алгоритма является объединение инфраструктурных объектов под одной выделенной сетью. Внутри сети необходимо использовать балансировку нагрузок на вычислительные мощности машин трансформации данных и машин БД. Возможности использования балансировщиков сете-

вых нагрузок позволяют равномерно распределять нагрузку как на уровне запросов, так и на уровне объектов виртуальной частной сети [14]. В итоге, получаем следующую схему общей инфраструктуры использования алгоритма (рис. 3).

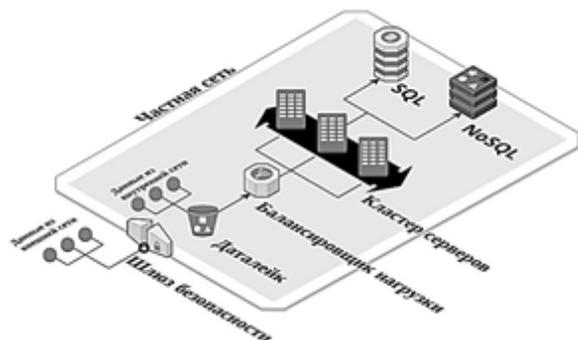


Рисунок 3 – Архитектура алгоритма

1. Данные выгружаются из даталейка, режим работы которого выбирается в зависимости от требований к хранению исходных данных. Для исключения излишней репликации в целях повышения безопасности системы стоит использовать обычный режим работы даталейка. На схеме даталейк представлен корзиной с объектами.

2. Процесс трансформации данных должен происходить на кластере серверов. Работа с контейнером серверов предполагает возможность использования приложений и программ над всем кластером. Над ним должны быть развернуты системы управления кластером машин и распределения потоков между ними. Для конкретной реализации алгоритма необходимо развертывание сервиса *MapReduce*, который может быть заменен на сервисы потоковой обработки данных.

3. Загрузка больших данных должна производиться в *NoSQL* базы данных для обеспечения быстрой работы с информацией остальными компонентами системы. Для создания гибкой системы, способной эффективно работать как с большими данными, так и с точными значениями, рекомендуется использовать гибридные архитектуры БД.

4. Весь процесс обработки должен быть объединен одной частной сетью под управлением балансировщиком нагрузки для равномерной загрузки вычислительных машин. Также необходима работа в частной сети для обеспечения корпоративных требований безопасности.

На каждой стадии процесса обработки данных есть возможности компонентной оптимизации выбранных инфраструктурных объектов. Поэтому для построения наиболее эффективных процессов внутри алгоритма обработки необходимо также выбрать более высокоуровневые компоненты инфраструктуры.

Наиболее популярными подходами к работе с даталейками являются развертывание файловых систем *HDFS* либо *S3*. Первая является частью системы *Hadoop*, вторая является реализацией файловой системы для больших данных от публичного облач-

ного провайдера *Amazon*. Сейчас существуют возможности развертывание озер данных с *S3* файловой системой не только в облаке *Amazon*, но и локально или у других облачных провайдеров. Озеро данных *S3* управляется посредством автоматического программного интерфейса *API*. Помимо наиболее широкого функционала для работы с данными и управления самим хранилищем, *S3 API* имеет множество возможностей к управлению доступом к данным в озере данных и настройкам безопасности [15]. Чем более полноценно даталейк с исходными данными поддерживает *S3 API*, тем он гибче в настройках, и в том числе в настройках безопасности. Конкретные правила и настройки безопасности для хранилища в рамках применения алгоритма стоит выбирать в зависимости от конкретной реализации алгоритма. *HDFS API* имеет более скромный набор функций. *API* продукта компании *Apache* более ориентировано на работу с данными, методами *PUT* и *GET*, нежели настройки безопасности. Так у *HDFS API* есть лишь два способа аутентификации: *Hadoop Delegation Token* и *Kerberos SPENEGO*. Из журналирования поддерживается только проверка контрольных сумм [16].

Существуют различные варианты управления кластерами серверов обработки больших данных. Одним из наиболее удобных и эффективных вариантов реализации кластерной обработки больших данных, не требующих потоковых вычислений, является выполнение алгоритма *MapReduce*, разработанного компанией *Google*. Это фреймворк для выполнения процессов и задач, оптимизирующий работу распределенных вычислительных мощностей серверов (нодов) посредством выполнения трех операций: *Map; Shuffle; Reduce* [17].

Алгоритм *MapReduce* успел успешно зарекомендовать себя как фреймворк для параллельной обработки данных на кластерах вычислительных машин, поэтому он отлично подойдет для обработки больших данных. Параллельность и распределение задач делают возможным независимую обработку данных на разных стадиях, при этом не перегружая локальные вычислительные ресурсы конкретной машины. Также это увеличивает доступность системы: при сбое в отдельной воркер-ноде её задача будет передана другой. Отмеченным недостатком является ацикличность работы системы, то есть невозможность обращаться к исходному набору данных дважды на разных стадиях работы. Это ограничивает возможности применения *MapReduce* для машинного обучения, однако таких задач для алгоритма не было обозначено [18].

Внутри машин, используемых в *MapReduce* можно удобно поднимать контейнеры с заранее написанными приложениями. Контейнеризация может осуществляться на различных платформах и позволяет писать различные приложения над виртуальными машинами, а затем *MapReduce* оптимизирует их работу.

Для более оптимальной работы кластеров *MapReduce*, производящих вычисления над общей фай-

ловой системой кластера, существуют надстройки, одна из наиболее удобных, распространенных и применимых для задач обработки больших данных, является *Apache Spark*. Это фреймворк для оптимизации процессов выполнения запросов на серверах, которые при этом производят кэширование в памяти. С помощью *Spark* можно использовать механизм трансформации данных типа «направленный ациклический граф» (*DAG*), что формирует эффективные планы запросов на обработку данных. Разработка приложений, формирующих задачи, с помощью *Spark* также вариативна, так как *Spark* имеет встроенную поддержку *Scala*, *Python* и *Java*, а также *SQL* запросы к обрабатываемым данным. Такие приложения легко сворачиваются в контейнеры для дальнейшего автоматического развертывания при запуске кластера [19].

Для выбора СУБД необходимо понимать ограничения и требования к БД. Как было выяснено при выборе объектов БД, нам интересны *NoSQL* базы данных, к которым необходимо подобрать управляющий компонент. Одной из наиболее распространенных свободных компонентов управления *NoSQL* является *Druid* [20].

Для выбора инструментов управления сетевыми нагрузками в системах обработки больших данных с первого взгляда нет ничего необычного: есть виртуальная частная сеть, объединяющая машины и хранилища, у каждого есть *IP* адреса, маршрутизацию между которыми осуществляет *NAT*. Однако, в мире больших данных есть специфический программный брокер сообщений *Kafka*, осуществляющий координацию между частями системы. У облачных провайдеров есть специфические сервисы и ресурсы балансировщиков нагрузок, позволяющих распределять нагрузки на вычислительные мощности внутри сети на высоком уровне абстракции.

По полученным результатам выбора компонентов получен стек программных компонентов, представленных на рисунке 4 и позволяющих осуществлять эффективное управление выбранной инфраструктурой.

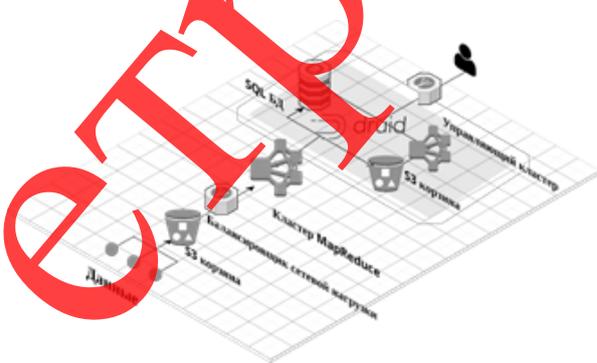


Рисунок 4 – Архитектура алгоритма на уровне компонент

Выбранные продукты не только эффективны с точки зрения работы с данными, но также и с точки зрения вложений. Они не требуют проприетарных решений, поддерживаются сообществом и имеют широкий набор библиотек.

Как было описано выше, при рассмотрении возможностей алгоритма с точки зрения облачных структур стоит обратить внимание на модели предоставления облачных *IaaS* и *PaaS* сервисов для контроля над инфраструктурой. Эти модели наиболее гибкие для моделирования различных процессов трансформации, а также поддерживают возможности развертывания пользовательских настроек безопасности [7]. При развертывании публичного облака одним из ограничений является невозможность обеспечить критически высокие требования безопасности, но даже несмотря на то, что ресурсы могут физически находиться у провайдера, они могут быть объединены в виртуальную частную сеть, сопряженную с корпоративной. Такие виртуальные сети с облачными ресурсами называются виртуальными частными облаками (*VPC*) [21].

Отдельным неотъемлемым плюсом публичных облачных структур является их надежность. Именно публичные облачные ресурсы позволяют выбрать необходимый уровень доступности датацентра, обеспечены надежностью в 99,9% (11 девяток) [15] – для создания подобных ЦОД необходимы огромные капиталовложения.

По вариантам развертывания системы для больших данных, публичные облачные решения также порой более применимы, потому как провайдер может договориться о совместной разработке с *Apache* над *Hadoop* интеграцией, либо самостоятельно сконфигурировать свои продукты так, чтобы они были заточены под легкую интеграцию с *Hadoop*-компонентами [19].

**Реализация алгоритма.** Сегодня основными игроками на рынке публичных облачных сервисов является тройка: *Amazon Web Services*, *Microsoft Azure* и *Google Cloud Platform*. Российские компании лишь выходят на этот рынок, их пакет сервисов растет, но пока не является конкурирующими с ними. Крупнейшим облачным провайдером в мире является американская компания *Amazon Web Services*, имеющая более 35% мирового рынка облачных услуг. Являясь лидером отрасли, в портфеле сервисов *Amazon* есть более специализированные сервисы и команды управления инфраструктурой для конкретных задач. Их облачные *IaaS* сервисы обладают способностью автоматического масштабирования при увеличении нагрузок для обеспечения постоянной эталонной производительности инфраструктуры. Немаловажным аргументом при выборе провайдера является доступность автоматического развертывания. В случае с *Amazon*, бесплатно предоставляется возможность развертывания выбранной инфраструктуры посредством скриптов сервиса *AWS CloudFormation*. Он объединяет параметры развертывания облака в один текстовый файл, и затем при запуске скрипта из файлов создается пользовательская облачная среда. При необходимости, алгоритм может поддерживать кросспровайдерную архитектуру.

Основные архитектурные и компонентные эле-

менты уже были описаны и выбраны выше. Необходимо выбрать наиболее подходящие сервисы для каждого из элементов инфраструктуры из списка сервисов *Amazon* так, чтобы они максимально полно поддерживали требования к алгоритму. При реализации исходим из стандартных настроек сервисов, поддерживающих работоспособность алгоритма, но при внедрении алгоритма стоит понимать, что список сервисов может быть расширен за счет использования дополнительных надстроек (резервное копирование, использование нескольких зон доступности и т.п.).

Для исходных хранилищ будет использоваться хранилище *AWS Simple Storage Service (S3)*. Затем данные будут трансформироваться сервисом *AWS Elastic MapReduce (EMR)*, работающим поверх кластера серверов *AWS Elastic Compute Cloud (EC2)*. Это значит, что есть сама единица вычислительной машины *AWS EC2*, но можно заказать сервис *AWS EMR*, который развернет и настроит кластер *EC2* самостоятельно. Дальнейшая загрузка будет производиться в такой же эластичный даталейк *AWS S3*. Реляционная БД может быть представлена сервисом *AWS Relational Database Service (RDS)* под управлением *Druid*. Сетевые

нагрузки перенаправляет балансировщик нагрузки *Elastic Load Balancer*. Полная архитектура алгоритма с сервисами *AWS* представлена на рисунке 5.

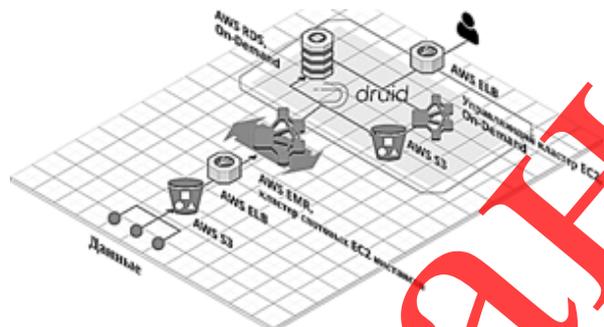


Рисунок 5 – Архитектура алгоритма на уровне компонент внутри облака *Amazon Web Services*.

### Развертывание алгоритма и тестирование.

Алгоритм был применен в комплексной системе аналитики больших данных о состоянии ИТ-инфраструктуры. Как видно из рисунка ниже, вся архитектура комплексной системы развернута внутри облака *Amazon Web Services*. Компоненты алгоритма отражены на рисунке 6 в правой части архитектурной схемы и отмечены рамкой.

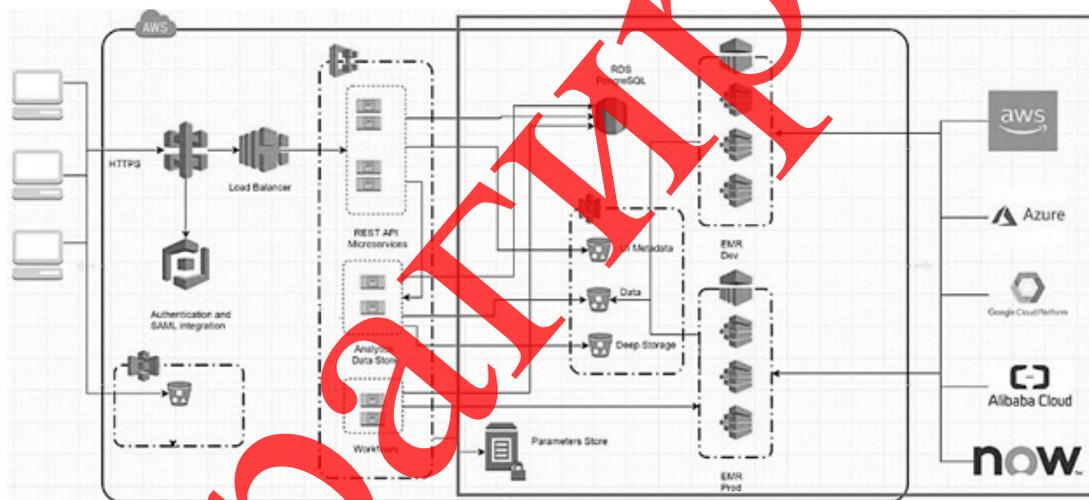


Рисунок 6 – Комплексная архитектура алгоритма.

При внедрении алгоритма развернуто два кластера *EMR* для вариации пользовательских настроек трансформации. Пользователю предлагается потребриваться с настройками трансформации над пробным *EMR* кластером, и убедившись в их корректности, продвигать изменения на основной кластер.

При первоначальном развертывании использовалась консоль *AWS*. После единичного развертывания слепок инфраструктурных сервисов системы можно использовать посредством *CloudFormation*. Развернуты даталейки *AWS S3* для моделирования источника данных и конечного места загрузки. Затем развернут сервис *AWS EMR*, самостоятельно развернувший кластер *AWS EC2*. При развертывании *EMR* можно сразу указать необходимость журналирования, формат работы, необходимые параметры безопасности

внутри машин. Стоит отметить, что помимо настроек безопасности из консоли, могут быть развернуты пользовательские программы и настройки ПО на каждой машине посредством подключения к каждой из них и развертывания настроек самостоятельно либо с помощью контейнеризации. После этого развернуты сервисы *AWS EC2* для *Druid*. Затем выставлены права на доступ к данным из источников *S3* для *EC2*.

Доступ по роли к ресурсам осуществляется по трем параметрам: название роли, ключ доступа и секретный ключ. На каждое действие в облаке *Amazon Web Services* (удаление, просмотр данных, управление сервисами и др.) необходимо иметь доступ. При отсутствии доступа подключение и проведение операций над инфраструктурами компонентами невозможно ни через командную строку, ни через

интерфейс консоли *AWS*.

**Заключение.** В работе предложен алгоритм, позволяющий осуществлять обработку больших объемов данных посредством набора инфраструктурных облачных сервисов. Он позволяет обрабатывать данные из пользовательских защищенных источников, без хранения какой-либо информации после процесса обработки, а также может быть встроен в корпоративные инфокоммуникационные сети, формируя подсистему виртуального частного облака.

При выполнении работы решены следующие задачи:

- произведен анализ предметной области аналитики больших данных и облачных систем;
- произведен выбор объектов и компонентов инфраструктуры алгоритма для разработки;
- спроектирована архитектура процессов алгоритма;
- выбраны публичный облачный провайдер *Amazon Web Services* и сервисы для реализации алгоритма;
- разработан и протестирован алгоритм на инфраструктурных сервисах *Amazon Web Services*.

Предложенная реализация системы является легко масштабируемой облачной распределенной вычислительной системой, что позволяет использовать отдельные инфраструктурные элементы как сервис и при необходимости увеличения мощностей просто докупать их. Таким образом, алгоритм позволяет безопасно обрабатывать большие данные, затем выгружая их в хранилища любой заданной защищенности: как облачные, так и местные. Алгоритм обладает гибкими возможностями трансформации и применения как в публичных, так и в гибридных и кросспровайдерных облачных структурах разных уровней защищенности. Предложенная его реализация позволяет оперативно развертывать облачную инфраструктуру.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Accenture Big Success with Big Data [Электронный ресурс]. 2014. Режим доступа: <https://www.accenture.com/tx-es/insight-big-success-big-data> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020)
2. Федотов Н.Н. Формализация - компьютерная криминалистика. М.: Юридический мир. – 2007. С. 37-50.
3. David Loshin. ETL (Extract, Transform, Load) // Business Intelligence. – 2nd edition. – Morgan Kaufmann, Burlington, Massachusetts, 2012. 400 p.
4. Lynch C. Big data: How do your data grow? // Nature. – 2008. – Т. 455. – №. 7209. – С. 28.
5. Martyshkin, A.I., Salnikov, I.I., Artyushina, E.A. R&D in Collection and Representation of Non-structured Open-Source Data for Use in Decision-Making Systems // Lecture Notes in Electrical Engineering 641 LNEE, PP. 1098-1112.
6. Черняк Л. Большие данные – новая теория и практика // Открытые системы. СУБД. – 2011. – №. 10. – С. 18-25.
7. Bhardwaj S., Jain L., Jain S. Cloud computing: A study of infrastructure as a service (IAAS) // International Journal of engineering and information Technology. – 2010. – Т.2. – №. 1. – С. 60-63.
8. Herbst N. R., Kounev S., Reussner R. Elasticity in cloud computing: What it is, and what it is not // Proceedings of the 10th

International Conference on Autonomic Computing (ICAC) 13). – 2013. – С. 23-27.

9. Hai R., Geisler S., Quix C. Constance: An intelligent data lake system // Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data. – ACM, 2016. – С. 2097-2100.

10. What is a data lake? // Amazon Web Services [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/big-data/datalakes-and-analytics/what-is-a-data-lake/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).

11. Чехарин Е. Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. – 2016. – №. 3 (21). – С. 7-11.

12. Moniruzzaman A. B. M., Hossain S. A. NoSQL databases: New era of databases for big data analytics-classification, characteristics and comparison // International Journal of Database Theory and Application. Vol. 6, No. 4. 2013. PP. 1–14.

13. Что такое NoSQL? // Amazon Web Services [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/psql/> свободный. Яз. русский (дата обращения: 14.05.2020).

14. Elastic Load Balancing // Amazon Web Services [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/elasticloadbalancing/> свободный. Яз. русский (дата обращения: 14.05.2020).

15. Возможности Amazon S3 // Amazon Web Services [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/s3/features/> свободный. Яз. русский (дата обращения: 14.05.2020).

16. WebHDFS Rest API // Apache [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://hadoop.apache.org/docs/r1.0.4/webhdfs.html> свободный. Яз. русский (дата обращения: 14.05.2020).

17. Мартышкин А.И., Сальников И.И., Пашенко Д.В. Этапы сбора и представления больших данных для построения социального профиля человека // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – №. 9. – С. 617-628.

18. Riesen R., Brightwell R., Maccabe A. B. Differences between distributed and parallel systems // SAND98-2221, Unlimited Release, Printed October. – 1998. – PP. 3-28.

19. Apache Spark в Amazon EMR // Amazon Web Services [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/emr/features/spark/> свободный. Яз. русский (дата обращения: 14.05.2020).

20. Druid Documentation // Druid [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <http://druid.io/docs/latest/design/index.html> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).

21. Sotomayor B. et al. Virtual infrastructure management in private and hybrid clouds // IEEE Internet computing. – 2009. – Т. 13. – №. 5. – С. 14-22.

**Статья публикуется при поддержке гранта РФФИ «Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований» (Грант № 19-07-00516 А).**

Статья поступила в редакцию 05.05.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020

УДК 004.4, 004.891.2, 519.814

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0024

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДБОРЕ СПЕЦИАЛИСТА НА РАЗРАБОТКУ  
ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
КАНДИДАТА**

©2020

**Лагерев Дмитрий Григорьевич**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информатика и вычислительная техника»

**Варламов Дмитрий Олегович**, аспирант кафедры «Компьютерные технологии и системы»  
Брянский государственный технический университет  
(241035, Россия, Брянск, улица Бульвар 50 лет Октября, 7,  
emails: lagerevdg@yandex.ru, dmitriy1708@bk.ru)

**Аннотация.** Принятие решений по распределению человеческих ресурсов на современном информационно-технологическом предприятии, зачастую, сопряжено с рисками, связанными с эффективностью этих решений. Лицо, принимающее решения, не всегда располагает достаточным временным ресурсом и технической базой знаний, чтобы обеспечить необходимую степень обоснованности управления. В условиях многозадачности, постоянно меняющихся технологий и высокой степени кадровых перестановок, присущих предметной области, возникает необходимость в поддержке проектного менеджера. В рамках исследования, рассмотрены методы и модели автоматизации сбора, обработки и анализа данных по специалистам предприятия. А также, представление этих данных в виде альтернатив, отвечающих запросу входящего проекта, на который, непосредственно, рассматривается назначение кандидата. Основной решаемой задачей, является предоставление для лица, принимающего решения, нескольких релевантных альтернатив, специалистов, параметризация которых основана на автоматизации обработки большого массива статистических и параметрических данных по прошлым проектам. Так же, альтернативы оцениваются при помощи модуля анализа качества написания программного кода, что снижает вероятность технической погрешности управления. Результат работы модели предоставляется проектному менеджеру в виде параметрической сравнительной таблицы, для наглядности принимаемого итогового решения.

**Ключевые слова:** модель альтернативы, математическая модель, алгоритм, автоматизация, анализ, лицо принимающее решения, управление проектами, принятие решений, многозадачность, обоснованность, оптимальность.

**SUPPORT OF DECISION-MAKING DURING THE SELECTION OF A SPECIALIST FOR THE  
DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PRODUCT USING  
THE CANDIDATE INFORMATION MODEL**

©2020

**Lagerev Dmitry Grigorievich**, candidate of technical Sciences,  
associate Professor of department «Computer science and computer engineering»

**Varlamov Dmitry Olegovich**, postgraduate student of the department «Computer technologies and systems»  
*Bryansk state technical university*

(241035, Russia, Bryansk, Bulvar 50 let Oktyabrya street, 7, emails: lagerevdg@yandex.ru, dmitriy1708@bk.ru)

**Abstract.** Making decisions on the allocation of human resources in a modern information technology enterprise is often fraught with risks associated with the effectiveness of these decisions. The decision maker does not always have sufficient time resources and a technical knowledge base to provide the necessary degree of management justification. In conditions of multitasking, constantly changing technologies and a high degree of personnel shifts inherent in the subject area, the need arises for the support of a project manager. As part of the study, methods and models of automating the collection, processing and analysis of data from specialists of the enterprise are considered. And also, the presentation of this data in the form of alternatives that meet the request of the incoming project, for which, directly, the appointment of the candidate is considered. The main task to be solved is to provide the decision maker with several relevant alternatives, specialists whose parameterization is based on the automation of processing a large array of statistical and parametric data on past projects. In addition, alternatives are evaluated using a module for analyzing the quality of writing software code, which reduces the likelihood of technical control mistake. The result of the model is provided to the project manager in the form of a parametric comparative table to support the final decision.

**Keywords:** alternative model, mathematical model, algorithm, automation, analysis, decision-maker, project management, decision making, multitasking, validity, optimality.

**Введение.** Обеспечение успешной проектной деятельности современного информационно-технологического предприятия, занимающегося предоставлением услуг по разработке программного обеспечения – сложный и многогранный процесс. Для принятия стратегически-обоснованных управленческих решений, проектному менеджеру необходимо подкрепить свои экспертные суждения статис-

тическими и математическими расчётами и данными [1]. Однако, сегодняшний рынок предоставления услуг разработки программного обеспечения, сталкивается с рядом сопутствующих сложностей, связанных с управлением [2]:

1. Существует высокая частота кадровых перестановок на предприятии, из-за чего проектный менеджер не успевает сформировать обоснованное экспертное мнение по конкретному специалисту. Вследствие чего управление специалистом может иметь неоптимальный характер:

2. Для формирования обоснованной управленческой деятельности, на основе статистики и экспертных моделей, необходимо обработать большое количество соответствующих данных. Высокий уровень многозадачности и параллельности одновременно протекающих проектов, а также, стоимость затраченного на анализ времени, оказывают негативное влияние на итоговую маржинальность всего проекта.

3. Не все лица, принимающие решения, в роли проектных менеджеров в ИТ-компаниях, имеют достаточную техническую базу знаний и могут верно оценить некоторые профессиональные качества отдельных специалистов. Это, в свою очередь, может негативно сказаться на точности и актуальности прогноза и стратегического решения в целом.

Если же говорить более предметно, на сегодняшний день существует ряд подходов распределения специалистов на проектную работу в исследуемой области [3]. Для удобства восприятия, можно объединить самые популярные из них в четыре абстрактные группы методов.

Самым распространенным подходом, применяемым сегодня, является подход, основанный на личном и профессиональном опыте самого проектного менеджера. Такой подход можно назвать «опытным методом». При таком подходе, ЛПР, нацелен в первую очередь на экономию времени при распределении специалистов на проектную деятельность. Точность прогноза целиком ложится на личностные предпочтения самого менеджера, зачастую, не подкрепленные математической или экспертной моделями. Результатом такого подхода, нередко, являются риски, связанные с переработками и смещением первоначальных сроков, конфликтом интересов среди менеджеров в борьбе за кандидата, а так же, общей неоптимальностью распределения ресурсов [4].

Еще два подхода, которые необходимо упомянуть, это «оценка репутации» и «оценка компетенций». Оба этих подхода, так же основываются на личных взглядах ЛПР, однако, в отличие от первого метода, подкреплены экспертной аналитикой, на основе реальных данных. Так, например, оценка компетенций – это прямое следствие анализа качества работы сотрудника, на основании его прошлых задач. Однако, оценка осуществляется непосредственно самим ЛПР, что не избавляет метод от рисков, связанных

с человеческим фактором, уровнем компетенций, личными предпочтениями. Проектный менеджер таким образом все же повышает обоснованность своего решения, в сравнении с первым методом. Однако, затрачивает весомое количество временных ресурсов и, при этом, не избавляется от ряда сопутствующих рисков, присущих прошлым подходам [5].

Еще одной группой методов является всесторонняя экспертная оценка, нередко групповая. При таком подходе берутся реальные показатели, и на их основании строятся непосредственно экспертные модели, проводятся расчёты, приглашаются ЛПР с реальной технической базой, например, руководители отдела разработки. Итогом такого подхода, является всесторонняя оценка предстоящего проекта, определение кандидата на выполнение задачи, учитываются финансовые и репутационные риски, проводится полноценное прогнозирование [6]. Точность подобного метода значительно превосходит все предыдущие подходы, однако, на подобный анализ затрачивается большое количество времени, что неприемлемо и, зачастую, ненужно для компаний, работающих с проектами среднего и малого сектора.

Закономерным следствием подобной ситуации является деятельность в условиях стремления сохранить баланс между затраченным временем на планирование и его непосредственной обоснованностью. Особенно остро ситуация проявляет себя в условиях многозадачности [7], являющейся неотъемлемой частью рабочего процесса и многократно увеличивающей нагрузку на проектного менеджера и эффективность его решений.

Анализ ситуации на рынке предоставления услуг по разработке программного обеспечения, позволил сформировать направленность проводимого в данной статье исследования. Основной целью которого, стала попытка автоматизировать и повысить качество управления, при помощи моделей и методов поддержки управленческих решений в области подбора специалистов при разработке программных продуктов на современном ИТ-предприятии. В данном исследовании под повышением качества управления подразумевается повышение обоснованности и оперативности принимаемых управленческих решений [8], в условиях многозадачности и проблематики, описанной ранее. При проведении исследования, рассматривались ИТ-компании, предоставляющие услуги по разработке программного обеспечения, *web* и *mobile* проектов, средней величины, включающие 50 и более человек в штате сотрудников.

**Материал и результаты исследования.** В рамках проводимого исследования, было принято решение о необходимости разработки моделей и алгоритмов автоматизации сбора и обработки статистических и параметрических данных о специалистах на предприятии. Для дальнейшего формирования нескольких равновесных альтернатив и назначения на конкретную проектную задачу, с предложением этих альтернатив для окончательного выбора лицу,

принимающему решения.

Для достижения целей исследования, было решено:

1. Автоматизировать сбор и обработку статистических и параметрических данных о специалистах предприятия, с последующим анализом и сверткой этих данных в виде альтернативы;

2. Повысить обоснованность оценки компетенций специалиста, посредством применения технологий оценки качества написания исходного кода программного продукта;

3. Автоматизировать и провести оценку рисков, наступление которых возможно при определении конкретного специалиста на рассматриваемую задачу.

Подобная методика позволит лицу, принимающему решения, даже с недостаточной технической базой, оценить насколько конкретный специалист подходит для решения конкретной задачи. В рамках исследования, планировалось предоставить для ЛПП несколько наиболее релевантных, если это возможно, альтернатив в рамках рассматриваемого проекта. Альтернативы представлялись в виде параметрического набора, который ЛПП может просмотреть подробнее, в случае необходимости. Так же, ознакомиться с потенциальными рисками по альтернативе, результатом анализа качества написания исходного кода и параметризацией, в виде загруженности специалиста, стоимости часа работы и так далее.

С подобным подходом планируется, в рамках исследования, повысить обоснованность при выборе альтернативы, при этом, не увеличивая временных затрат на анализ и принятие решений, взяв за основу результаты анализа и обработки реальных данных самого кандидата. Итогом такого подхода является предоставление для ЛПП выжимки самых критически важных, в условиях входных параметров конкретной задачи, показателей [9] по каждой релевантной альтернативе.

**Математическая модель кандидата.** Первоначально, обозначим обобщенную формализацию модели в целом [10]. Она является первым пунктом научной новизны в рамках всего исследования. Модель рассчитана на внедрение в ИТ-компаниях средней и малой численности сотрудников, оказывающих услуги по разработке программного обеспечения. Ниже представлена модель и ее элементы.

$$SM = \{P, S, SP, T, ST, RO, RI, C, MPSP, SPP, RSS, MP, CS, AR\}$$

**Входные параметры:**

$P = \{P_i\}, i = \overline{1, I}$  – множество параметров входящей задачи, полученных из системы управления проектами, либо заданных экспертом (в случае недостаточности данных).

$S = \{S_j\}, j = \overline{1, J}$  – множество описательных параметров кандидата, для формирования карточки специалиста.

$SP = \{SP_n\}, n = \overline{1, N}$  – множество профессиональ-

ных параметров и компетенций кандидата, полученных из системы управления проектами, либо заданных экспертом (в случае недостаточности данных).

$T = \{T_y\}, y = \overline{1, Y}$  – множество задач по всем текущим проектам компании из сферы компетенций кандидата (оптимальность распределения ресурсов).

$ST = \{ST_x\}, x = \overline{1, X}$  – множество задач, уже выполняемых кандидатом (его текущая загруженность).

$RO = \{RO_z\}, z = \overline{1, Z}$  – множество рисков, связанных со специалистом.

$RI = \{RI_u\}, u = \overline{1, U}$  – множество рисков, связанных с задачей, его параметризацией, заказчиком и так далее.

$C = \{C_e\}, e = \overline{1, E}$  – множество оценок качества исходного кода кандидата.

$MPSP = \{MPSP_{i,n}\}$  – множество связей  $P_i$  и  $SP_n$ .

**Выходные параметры:**

$SPP = \{SPP_n\}, n = \overline{1, N}$  – множество кандидатов, удовлетворяющих всем условиям текущего проекта и не противоречащих системе ограничений в рамках всего предприятия.

$RSS = \{RSS_z\}, z = \overline{1, Z}$  – множество рисков, с коэффициентом срабатывания выше X по каждому отобранному кандидату.

$MP = \{MP_b\}, b = \overline{1, B}$  – предполагаемая маржинальность выполнения отдельной задачи этим кандидатом, как разница между заложенной по проекту и прогнозируемой ожидаемой стоимостью исполнения.

$CS = \{CS_e\}, e = \overline{1, E}$  – результирующая группировка оценок анализа качества кода по каждому отобранному кандидату.

$AR = \{AR_l\}, l = \overline{1, L}$  – рассчитанная степень релевантности каждой конкретной альтернативы (кандидата) в рамках рассматриваемой задачи.

Рассмотрим алгоритм оценки соответствия искомого специалиста для поставленной, в рамках проекта, задачи.

1. На основании данных, получаемых из системы управления проектами, определить множество параметров новой задачи  $\{P_i\}$ , для последующего выявления соответствия их компетенциям кандидата  $\{SP_n\}$ .

2. Для каждого параметра задачи, данные берутся из системы управления проектами. В случае отсутствия уже заданных значений, допускается их задание экспертным методом, с привлечением технического специалиста (руководитель отдела разработки) [11].

3. Рассчитать показатель соответствия  $\{MPSP_{i,n}\}$  для параметризации задачи  $\{P_i\}$  и компетенций специалиста  $\{SP_n\}$  при помощи алгоритма поиска процента несогласия [12]:

$$MPSP_{i,j} = VALUE | \{P_i\} \neq \{SP_n\} |$$

4. Рассчитать коэффициенты рисков  $\{RO_z, RI_u\}$  по группам параметров, при помощи оценки вероятности возникновения рисков и степени их влияния на

примере метода аналогий, применимого в условиях рассмотрения небольших ИТ-компаний с потоковым повторяющимся производством [13].

5. Параметризовать показатели, не входящие в анализ соответствия, но участвующие в определении степени релевантности альтернатив [14] для ЛПР. Для этого весь массив данных, полученных из системы управления проектами по заданным запросам, формируется в виде сравнительной таблицы показателей.

6. При запросе альтернативы, ЛПР делает выбор приоритетности показателей методом парных сравнений [15], по следующим группам:

- a. приоритет маржинальности проекта;
- b. приоритет удовлетворения сроков разработки;
- c. приоритет компетенций кандидата.

7. Рассчитать степень удовлетворения альтерна-

тивы  $\{S_j\}$  ко всем заявленным требованиям задачи  $\{P_i\}$ , при помощи метода взвешенной суммы [16].

Результирующий параметрический набор данных и групп параметров насчитывает свыше 45 показателей разной направленности. Данный набор параметров собирается и обрабатывается по каждому конкретному проекту в рамках всех выполненных и доступных задач компании на момент использования модели. Таким образом, автоматизация сбора, обработки, группировки, параметризации, анализа и расчета по этим данным, позволит, за сравнительно короткое время, повысить уровень обоснованности принимаемого решения, в задачах выбора специалиста на проект. Пример сводной таблицы, предлагаемой ЛПР, после применения подсистемы, представлен на рисунке 1.

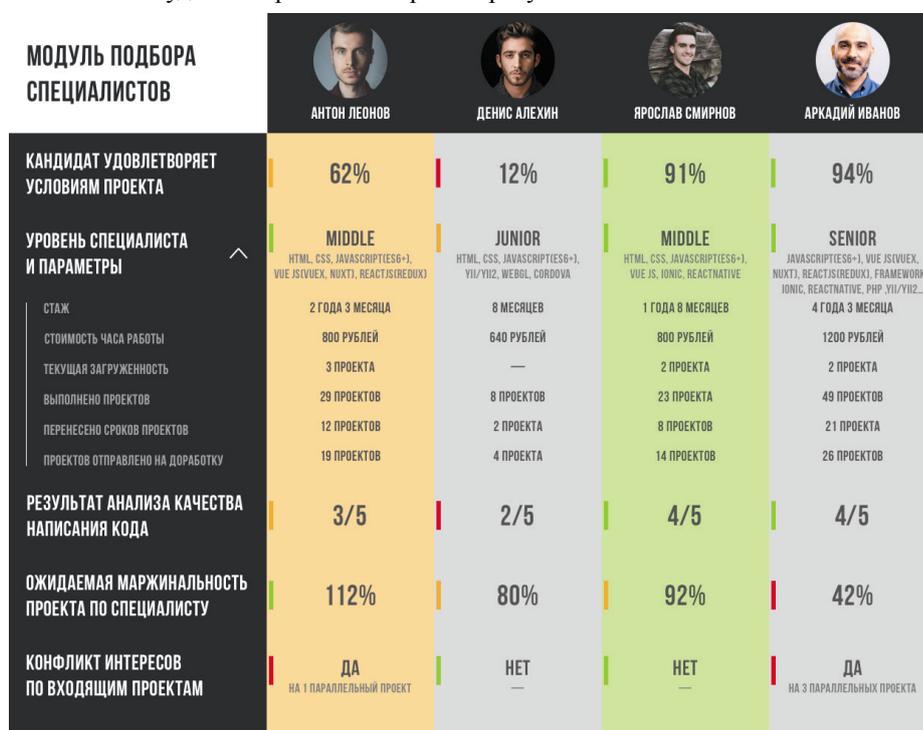


Рисунок 1 – Сводная таблица альтернатив

**Апробация результатов исследования.** Апробация методики и моделей проводилась на проектах, задачах и специалистах Брянской ИТ-компании «Idea-Promotion» [17]. Компания занимается разработкой сайтов на заказ. Штат насчитывает свыше 60 специалистов разной направленности, из которых 19 разработчиков. На проверку было выделено три календарных месяца и брались все входящие задачи из области *frontend web*-разработки [18].

Как уже было озвучено ранее, в состав модели входит несколько групп данных из нескольких источников. Так, например, для получения данных о прошлых проектах и задачах специалиста, данные брались при помощи интеграции по API [19] с системой Bitrix24 [20], которую используют специалисты компании для работы с входящими задачами. Среди основных получаемых данных, можно выделить:

1. Технологическая параметризация специалиста;

2. Показатели и статистика выполнения прошлых проектов, просрочки задач, переносы сроков;

3. Количество выполняемых проектов и их сроки, на момент выбора альтернативы;

4. Стоимость часа работы специалиста;

5. Параметризация входящей задачи;

6. Данные для формирования карты рисков по проекту и по специалисту;

7. Возможные события, пересекающиеся со сроками выполнения проекта, такие как запланированный отпуск и так далее.

Это часть основных параметров, сгруппированная по типу воздействия на альтернативу и ее модель. Так же создана система контроля «конфликта интересов», чтобы предпочтения конкретного ЛПР, не пересекались и были оптимальны в рамках всей компании и всех параллельных задач. Другими словами, если конкретный специалист, по мнению

модели, эффективнее подойдет на задачу другого ЛПР, об этом необходимо оповестить менеджера.

Параллельно получению статистических и параметрических данных из *Bitrix24*, строится карта рисков, по конкретному специалисту и конкретной задаче. В эту карту входят как личностные риски, связанные с прошлыми показателями специалиста, так и риски, связанные с конкретным заказчиком и непредвиденными ситуациями, уже происходившими в рамках прошлых проектов и серьезно повлиявшими на рабочие процессы.

Еще одной важной группой данных, входящей в состав модели, является система анализа качества написания программного кода специалистом. Она автоматизирует экспертную оценку по техническому вопросу, не затрачивая большое количество времени ЛПР. Для этого в компании «*Idea-Promotion*» был взят ряд документов с исходным кодом конкретных специалистов и пропущен через модуль анализа *SonarQube* [21]. Оценка кода разделяется на несколько типов ошибок в разных категориях, степень комментируемости кода, дублирование и так далее. Методом группировки оценок, можно получить показатель по пятибалльной системе по каждому специалисту, на основании его реальных прошлых работ.

В рамках проведения апробации, внедрение подсистемы в рабочий процесс могло бы привести к искажению статистики и непредвиденным ситуациям на производстве. Для оптимизации тестирования и максимизации точности апробации, был изменен подход к внедрению модели. Было решено проводить анализ параллельно реальному процессу разработки, что позволило, не вмешиваясь в рабочий процесс предприятия, повысить качество апробации реальными цифрами итогового сравнения. Так же была выбрана размерность апробации, при которой рассматривалась связка «одна задача – один исполнитель», что позволило более обоснованно говорить о причастности конкретного кандидата к итоговым показателям.

В период апробации, в компанию поступали заявки на разработку *web*-решений. ЛПР, основываясь на привычном ему методе выбора альтернатив, назначал на задачу исполнителя. После чего, по тому же исполнителю проводился сбор параметрической и статистической информации для самой модели. В результате мы получали систему параметров, собранных в модель альтернативы в рамках определенной рассматриваемой задачи. Следующим шагом было дождаться окончания работы и сравнить наши выходные данные от модели и реальную ситуацию на момент сдачи проекта.

Приведем пример получаемых результатов на одном из проектов. Была предложена разработка Промо-страницы одного известного продуктового бренда. На задачу рассматривались три альтернативы и определен один *front-end* разработчик методом быстрой оценки загруженности и технических навыков. Так же была просчитана ожидаемая маржинальность

проекта и потенциальные сроки окончания работы. Написание кода, с последующими доработками и непредвиденными запросами клиента, было выделено 5 рабочих дней.

Результатом выполнения задачи стал перенос работы на 2 дополнительных рабочих дня, с сопутствующим снижением маржинальности проекта. Сработали 2 потенциальных риска, предложенных моделью, из 7 ожидаемых:

1. Анализ заказчика позволил сделать вывод о появлении «непредвиденных задач»;
2. Выбранный разработчик, ранее работав над более чем 2 параллельными проектами одновременно, не справлялся со сроками в 69% случаев.

За три месяца апробации, было обработано 23 входящих задачи. Итоговая точность прогноза в первый месяц составляла 34%, однако, после внесения ряда изменений в модель и работу с параметризацией, показатель точности удалось поднять до 46% при сохранении того же времени планирования. Эти данные актуальны в случае сравнения с реальным итоговым положением дел. В то время, как, в сравнении с прогнозами и ожиданиями самого ЛПР до старта проекта, модель показала свою полезность и позволила, в ряде задач, оптимизировать процесс и снизить непредвиденные последствия.

**Заключение.** Результаты исследования, внедренные в процесс управления на этапе апробации, позволили не только скорректировать направление дальнейшей работы, но и подтвердить актуальность решаемой проблемы. Проанализировав результат апробации, был сделан вывод о том, что, даже в условиях небольшого прироста обоснованности, модель позволяет повысить качество управления в значительно более короткие сроки. Помимо этого, рассматриваются потенциальные риски и технический анализ качества программного кода, учет которых не всегда в принципе доступен лицу, принимающему решения в компании. Следующим этапом исследования является формирование проектных команд на основании результатов, полученных от внедрения модели кандидата. Где немаловажным, помимо личностных качеств и параметров, является учет взаимного влияния параметризации на всю группу специалистов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Руководство к своду знаний по управлению проектом (Руководство РМВОК). Шестое издание – М.: Олимп-Бизнес, 2018. – С. 253.
2. Kniberg H. Scrum and XP from the Trenches (2nd Edition) / H. Kniberg, 2015. – С. 54.
3. Макконнелл С. Профессиональная разработка программного обеспечения / С. Макконнелл. – СПб: Питер, 2006. – С. 147.
4. Васильев Д.К. Типовые решения в управлении проектами / Д.К. Васильев, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков – Москва: ИЛУ РАН, 2003. – С. 75.
5. Морозов А.В. Метод оценки деятельности разработчиков объектно-ориентированного программного обес-

печения. / В.В. Лаптев, А.В. Морозов – Вестник Астраханского государственного технического университета №1, 2010. – С. 122 – 126.

6. Мартемьянов Ю.Ф. Экспертные методы принятия решений / Ю.Ф. Мартемьянов, Т.Я. Лазарева. – Тамбов: Тамб., 2010. – С. 9.

7. Креншоу Д. Миф о многозадачности / Д. Креншоу. – Москва: Эксмо, 2010. – С. 176.

8. Богданов В. Управление проектами. Корпоративная система шаг за шагом. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – С. 48-64.

9. Ньютон Р. Управление проектами от А до Я / Р. Ньютон - Альпина Паблишер: Москва, 2013. – С 15.

10. Марш Р. Исследовательская функция в деятельности менеджера / Проблемы теории и практики управления. Номер №1, 2013 – С. 42 – 46.

11. Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений / Л.Г. Евланов – М.: Экономика, 1984. – С. 175.

12. StatSoft [Электронный ресурс] – Электронный учебник по статистике. – Режим доступа: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html> (дата обращения 12.04.2020)

13. Марковская Е.И. Алгоритм качественной оценки рисков в проектах редевелопмента коммерческой недвижимости / Е.И. Марковская, А.Л. Сыркина / Экономика и менеджмент инновационных технологий № 11, 2014. – С. 15-21.

14. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах / О.И. Ларичев – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – С. 205.

15. Дэвид Г. Метод парных сравнений / пер. с англ. Н. Космарской и Д. Шмерлинга – М.: Статистика, 1978. – С. 144.

16. Подиновский В.В. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений / В.В. Подиновский, М.А. Потапов / Бизнес-информатика № 3, 2013. – С. 41 – 48.

17. Idea Promotion. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://idea-promotion.ru> (дата обращения 12.04.2020)

18. Дакетт Д. JavaScript и jQuery. Интерактивная веб-разработка / Д. Дакетт – М.: Издательство «Э», 2017. – С. 7.

19. Bitrix24 API. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bitrix24.ru/apps/api.php> (дата обращения 12.04.2020)

20. Bitrix 24. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bitrix24.ru> (дата обращения 12.04.2020)

21. SonarQube. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/pvs-studio/blog/315422> (дата обращения 12.04.2020)

*Статья поступила в редакцию 29.04.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004.728.1

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0025

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛАХ

© 2020

Тумасов Станислав Валерьевич, аспирант кафедры «Вычислительная техника»

*Пензенский государственный университет*

*(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mail: comp.flow@yandex.ru)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы построения средств контроля вычислительных сетей, использующих шумоподобные сигналы. Рассмотрены стандарты и методы обработки шумоподобных сигналов в вычислительных сетях. За основу при разработке системы были выбраны доступные решения, позволяющие оценить эксплуатационные характеристики оборудования беспроводной сети на основе проекта Nexmon SDR и устройств класса RTL-SDR. Был разработан и практически реализован аппаратно-программный комплекс для контроля параметров шумоподобных сигналов. Одним из основных контролируемых параметров для анализа возможностей шумоподобного сигнала по дальности связи является отношение сигнал/шум. Разработанный прибор обеспечивает работу в диапазоне 2400(S) со значениями ширины полосы 500 кГц, 1 МГц, 2 МГц, реализуя двоичную фазовую манипуляцию. Используется технология расширения спектра методом прямой последовательности. В качестве псевдослучайных последовательностей для шумоподобного сигнала были выбраны *m*-последовательности. Разработан алгоритм демодуляции поступающего квадратурного сигнала с использованием средств, разработанных на языке Python. Алгоритм выполняет децимацию, фильтрацию сигнала и позволяет построить корреляционные функции. Приведены графики спектров передаваемых сигналов и корреляционных функций на выходе демодулятора для ширины полосы 2 МГц. Полученные результаты позволяют оценить качество сетей, использующих шумоподобные сигналы.

**Ключевые слова:** беспроводные сети, шумоподобные сигналы, *m*-последовательности, коды Голда, аппаратно-программный комплекс, передача информации, стандарты, вычислительные сети, протоколы, корреляционный анализ.

## HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR ANALYSIS OF COMPUTER NETWORKS ON SPREAD SPECTRUM SIGNALS

© 2020

Tumasov Stanislav Valerevich, postgraduate of sub-department «Computer engineering»

*Penza State University*

*(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: comp.flow@yandex.ru)*

**Abstract.** The article discusses the issues of building control tools for computer networks using spread spectrum signals. The standards and methods for processing spread spectrum signals in computer networks are considered. The basis for the development of the system was chosen affordable solutions that allow to evaluate the operational characteristics of wireless network equipment based on the Nexmon SDR project and RTL-SDR class devices. A hardware-software complex was developed and practically implemented for monitoring parameters of spread spectrum signals. One of the main controlled parameters for analyzing the capabilities of a spread spectrum signal over a communication range is the signal-to-noise ratio. The developed device provides operation in the range of 2400(S) with bandwidths of 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, realizing binary phase shift keying. The technology of spreading the spectrum using the direct sequence spread spectrum method. As pseudo-random sequences for a spread spectrum signal, *m*-sequences were chosen. An algorithm has been developed for demodulating the incoming quadrature signal using tools developed in Python. The algorithm performs decimation, filtering the signal and allows you to build correlation functions. The graphs of the spectra of the transmitted signals and correlation functions at the output of the demodulator for a bandwidth of 2 MHz are presented. The results obtained make it possible to evaluate the quality of networks using spread spectrum signals.

**Keywords:** wireless network, spread spectrum signals, *m*-sequences, Gold codes, hardware and software complex, information transmit, standards, computer networks, protocols, correlation analysis.

**Введение.** Шумоподобный сигнал (ШПС) нашёл широкое применение в беспроводных локальных сетях [1, 2, 3], в технологии «умный дом» [4], в транспортной области [5, 6], в области спорта и активного отдыха [7] и т.д. Для передачи шумоподобного сигнала используется полоса, охватывающая энергетический спектр информационных сигналов. Выделяют следующие стандарты беспроводных сетей, использующих ШПС: *Wi-Fi* (*IEEE* 802.11b и т.д.) [1, 2, 3], *Zigbee* (*IEEE* 802.15.4-2003) [4], *LoRaWAN*

[5, 6, 8] и другие. В стандарте *IEEE* 802.11b используются последовательности Баркера длиной 11 чипов, двоичная фазовая манипуляция (*BPSK*) и квадратурная фазовая манипуляция (*QPSK*), технология расширения спектра методом прямой последовательности (*DSSS*). В *IEEE* 802.15.4-2003 для диапазона 2.4 ГГц используются псевдослучайные последовательности (ПСП) длиной 32 чипа совместно с квадратурной фазовой манипуляцией со сдвигом квадратур (*O-QPSK*) и технологией расширения спектра *DSSS*.

Технология *LoRa* [9] регламентирует использование псевдослучайной последовательности длиной 128 – 4096 чипов с технологией расширения спектра методом линейной частотной модуляции (*CSS*). Работы [1 – 6, 7] используют готовые модули, которые соответствуют стандартам и имеют узкоопределённые характеристики по длине псевдослучайной последовательности, полосе пропускания, скорости передачи информации, видам модуляции. Это налагает определённые ограничения на исследования характеристик вычислительной сети при различных скоростях передачи, базах шумоподобного сигнала, типах модуляции.

Условия применения сети могут налагать серьёзные ограничения на функциональность сети. Это может выражаться в снижении качества принимаемого сигнала, вплоть до отсутствия приёма. Поэтому в сложных условиях, например, в лесу, возникает проблема анализа бюджета радиолинии, расчёта максимальной дальности связи. Применение технологии ШПС является одним из направлений в повышении бюджета радиолинии и максимальной дальности связи. Поэтому важной задачей является оценка возможностей ШПС по увеличению дальности связи, принимая в расчёт ограничения оборудования. Но для качественной оценки возможностей ШПС важна способность изменения эксплуатационных характеристик оборудования беспроводной сети, например, базы ШПС. Известные решения являются либо достаточно сложными и дорогостоящими, либо не позволяют обеспечить полную оценку возможностей ШПС по увеличению дальности связи. Поэтому разработка доступного аппаратно-программного комплекса и более полная оценка на нём возможностей ШПС по увеличению дальности связи является актуальной проблемой. В данной работе оценивается один из основных показателей, влияющих на дальность связи – отношение сигнал/шум.

**Цель работы** – усовершенствовать методику определения отношения сигнал/шум шумоподобного сигнала и предложить вариант ее аппаратной реализации для оценки возможности увеличения дальности связи при разной ширине энергетического спектра сигнала.

**Материалы, методы и результаты.** От выбора технологии расширения спектра зависят параметры проектируемого оборудования. В этой связи была выбрана технология расширения *DSSS*, поскольку она обеспечивает большую дальность связи. Основным принципом этой технологии заключается в том, что передаваемый символ сообщения заменяется ПСП. При неизменной ширине полосы передачи с ростом базы ПСП будет уменьшаться информационная скорость.

Одними из основных параметров, влияющих на дальность связи, являются отношение сигнал/шум и максимальный уровень боковых пиков функции автокорреляции ПСП. Отношение сигнал/шум (в зарубежной литературе *SNR* – *Signal-to-Noise Ratio*) рассчитывается по следующей формуле [9]:

$$SNR = 20 \log_{10} \left( \frac{\max(R_x(\tau))}{s} \right),$$

где  $\max(R_x(\tau))$  – максимальное значение функции автокорреляции ПСП,  $s$  – среднеквадратическое значение функции автокорреляции ПСП.

Чем больше значение отношения сигнал/шум, тем выше качество канала связи. Чем ниже максимальный уровень боковых пиков функции автокорреляции ПСП, тем выше распознаваемость сигнала. Увеличение отношения сигнал/шум и уменьшение уровня боковых пиков позволяет увеличить дальность связи. Для расчёта отношения сигнал/шум и анализа максимального уровня боковых пиков строится автокорреляционная функция ПСП [10]. В беспроводных сетях широко применяются коды Голда и  $m$ -последовательности. С ростом длины ПСП увеличивается отношение сигнал/шум. Это подтверждает формула выигрыша для устройств обработки ШПС, представленная ниже [11]:

$$G = 10 \log_{10}(N),$$

где  $N$  – база ШПС.

Была выбрана  $m$ -последовательность в качестве передаваемой, поскольку она имеет более высокий уровень отношения сигнал/шум и низкий максимальный уровень боковых лепестков по сравнению с кодами Голда. Для экспериментальной оценки отношения сигнал/шум при разных значениях ширины полосы ШПС было принято решение разработать устройство на доступной элементной базе и программном обеспечении.

При создании устройства необходимо определиться с диапазоном частот, в котором оно будет работать. Нелицензируемые диапазоны частот не требуют разрешения на их использование, что облегчает исследования с нормативной точки зрения. Требования по нелицензируемым диапазонам частот представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования по нелицензируемым диапазонам частот

Диапазон	Частота, Гц	Ширина полосы, Гц	Максимальная мощность, Вт
<i>LPD433</i>	$433 \times 10^6$	$1.675 \times 10^6$	0.01
<i>PMR446</i>	$446 \times 10^6$	$0.1 \times 10^6$	0.5
<i>868(UHF)</i>	$868 \times 10^6$	$0.5 \times 10^6$	0.025
<i>2400(S)</i>	$2400 \times 10^6$	$83.5 \times 10^6$	0.1

Диапазон *2400(S)* имеет самую широкую допустимую полосу сигнала, а также находится на втором месте по максимальной мощности. *2400(S)* находит частое применение при исследованиях, что может дать много полезной информации. Поэтому был выбран диапазон *2400(S)*. Минимальная ширина полосы для сигнала была выбрана равной 500 кГц. Одними из наиболее простых в реализации являются амплитудная (*ASK*) и двоичная фазовая (*BPSK*) манипуляции. Была выбрана *BPSK*-модуляция поскольку может обеспечить увеличение чувствительности приёмника по сравнению с *ASK* [9]. При этом *BPSK* широко приме-

няется в стандартах беспроводной связи.

Большую популярность в настоящее время приобрела технология программно-конфигурируемого радио (SDR) [12, 13, 14], которая позволяет вносить изменения в эксплуатационные характеристики оборудования беспроводных сетей, например, изменять вид модуляции, базу ШПС, скорость передачи. Это даёт возможность учёным исследовать функционирование вычислительных сетей разной конфигурации, не останавливаясь на готовых модулях [15]. Особенности представляют квадратурные передатчики и приёмники, поскольку они позволяют реализовывать различные виды модуляций. При анализе сетевых протоколов широкое применение нашли программные средства *GNU Radio* [16, 17], разработанные на языке *Python*, поскольку они имеют необходимый набор модулей по обработке сигналов, распространяемых по лицензии *GNU GPL*.

После выбора основных технологий и диапазона частот производился анализ возможных аппаратных и программных обеспечений передатчика и приёмника. Среди проектов, которые реализуют технологию SDR, можно выделить *Nexmon Software Defined Radio* [18]. Он взят за основу при разработке передатчика экспериментального устройства. Инструменты *Nexmon Software Defined Radio* позволяют передавать с помощью *Wi-Fi*-модуля телефона или *Raspberry Pi IQ*-отсчёты. Данные *Wi-Fi*-модули позволяют работать в диапазоне 2400(S). Для передачи был выбран смартфон *Nexus5* с *Wi-Fi*-модулем *BCM4339* [19]. При этом частота дискретизации модуля равна 40 МГц, что даёт широкие возможности в наращивании полосы передаваемого сигнала. *Wi-Fi*-модуль *Nexus5* имеет буфер на 65536 отсчётов. Универсальным средством для приёма может послужить устройство класса *RTL-SDR* [20]. *RTL-SDR* подключаются к компьютеру и передаёт отсчёты по USB-интерфейсу. Важными характеристиками устройств являются: максимальная частота дискретизации для стабильного приёма, разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и диапазон принимаемых частот. В качестве аппаратного обеспечения приёмников были взяты устройства:

1) SDR-приёмник на чипе *RTL2832U* с тюнером *R820T*. Максимальная частота дискретизации для стабильного приёма в *GNU-Radio* – 2.4 МГц, разрядность АЦП – 8 бит.

2) SDR-приёмник с тюнером *R820T2*. Максимальная частота дискретизации для стабильного приёма в *GNU-Radio* – 6 МГц, разрядность АЦП – 12 бит.

Тюнеры *R820T* и *R820T2* обеспечивает работу лишь на диапазоне частот 24–1766 МГц. Но приёмник в разрабатываемом устройстве должен поддерживать диапазон с запасом 2412–2432 МГц. Одним из решений этого вопроса являются схемы понижающего преобразования. При разработке программного обеспечения приёмника использовались возможности *Python* и *GNU Radio*. *Python* позволяет осуществлять целый комплекс операций по обработке информации

с помощью подключения различных библиотек: *Matplotlib*, *NumPy* и т.д.

Для демодуляции поступающего квадратурного сигнала был разработан алгоритм. Алгоритм представляет собой следующую последовательность действий.

1. Считывание полученных отсчётов *I* и *Q*-составляющих комплексного сигнала и отсчётов *m*-последовательности из соответствующих файлов. *M*-последовательность дополняется дублирующими соседними отсчётами для того, чтобы на чип приходилось два отсчёта.

2. Нормирование отсчётов *I* и *Q*-составляющих сигнала.

3. Расчёт БПФ и построение спектра сигнала.

4. Децимация и фильтрация отдельно для *I* и *Q*-составляющих сигнала. Децимация производится для получения 4 отсчётов сигнала на чип. Фильтрация выполняется для устранения высокочастотных помех составляющих комплексного сигнала. Использовался фильтр *Root-Raised-Cosine (RRC)*, который имеет импульсную характеристику, представленную ниже [21]:

$$h(t) = \begin{cases} 1 - \alpha + 4 \frac{\alpha}{\delta}, & t = 0 \\ \frac{\alpha}{\sqrt{2}} [z_1 \sin(z_2) + z_3 \cos(z_2)], & t = \pm \frac{T}{4\alpha} \\ \frac{\sin(z_1) + 4\alpha \frac{t}{T} \cos(z_1)}{\pi \frac{t}{T} \left(1 - \left(4\alpha \frac{t}{T}\right)^2\right)}, & t \neq 0, t \neq \pm \frac{T}{4\alpha} \end{cases}$$

где  $z_1 = 1 + 2/\pi$ ,  $z_2 = \pi/(4 \times \alpha)$ ,  $z_3 = 1 - 2/\pi$ ,  $z_4 = (\pi \times (1 - \alpha) \times t)/T$ ,  $z_5 = (\pi \times (1 + \alpha) \times t)/T$ ,  $\alpha$  – коэффициент сглаживания,  $T$  – период символа.

5. Децимация и фильтрация отдельно для *I* и *Q*-составляющих сигнала. Децимация производится для получения 2 отсчётов сигнала на чип.

6. Построение взаимной корреляционной функции *m*-последовательностью отдельно для *I* и *Q*-составляющих сигнала. Взаимная корреляционная функция рассчитывалась по следующей формуле:

$$R_{xy}(k) = \sum_{i=1}^N x(i+k) y^*(i),$$

где  $k$  – сдвиг между последовательностями относительно друг друга,  $x(i+k)$  – сдвинутая последовательность отсчётов  $x(i)$  на  $k$  отсчётов,  $y^*(i)$  – комплексное сопряжение последовательности отсчётов  $y(i)$ .

7. Расчёт квадратного корня из суммы квадратов функций корреляции для *I* и *Q*-составляющих сигнала. Это является результатом работы скрипта демодулятора.

Передача сигнала осуществлялась на первом канале *Wi-Fi* (2412 МГц) и на несущей частоте 2420 МГц. С помощью скрипта *Matlab* производилась *BPSK*-модуляция *m*-последовательностей различной длины для разной ширины полосы сигналов. Была проведена экспериментальная оценка отношения сиг-

нал/шум для  $m$ -последовательностей при разных значениях ширины полосы сигнала.

Исходя из частот дискретизации приёмников и передатчика, а также возможностей демодулятора были выбраны следующие значения ширины полосы сигнала: 500 кГц, 1 МГц, 2 МГц. На рисунке 1 представлены спектры генерируемых сигналов с шириной полосы 2 МГц и ПСП с длинами 255, 511, 1023 и 2047

чипов.

Функции корреляции на выходе демодулятора экспериментального устройства для сигналов с шириной полосы 2 МГц и ПСП с длинами 255, 511, 1023 и 2047 чипов представлены на рисунке 2. В них видно, что с ростом длины ПСП увеличиваются значения основных пиков корреляции, что приводит к росту отношения сигнал/шум – SNR.

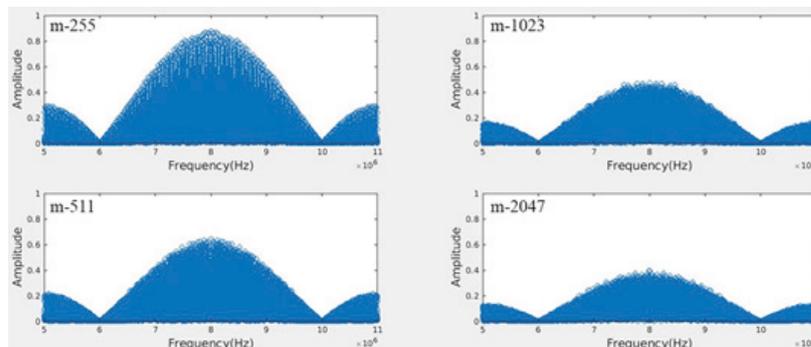


Рисунок 1 – Спектры генерируемых сигналов для разных размеров ПСП

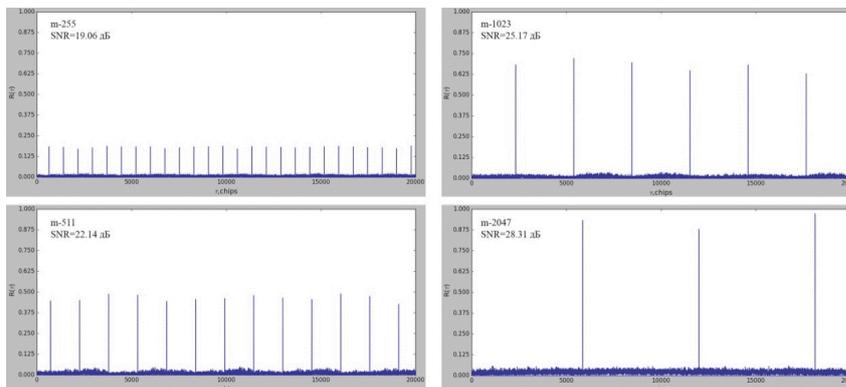


Рисунок 2 – Функции корреляции для разных размеров ПСП

Как уже отмечалось, буфер передатчика имеет длину 65536 отсчетов, что вводит ограничения на максимальную длину ПСП в зависимости от ширины полосы передаваемого сигнала. Экспериментально были получены значения отношения сигнал/шум для значений ширины полосы сигнала: 500 кГц, 1 МГц, 2 МГц и различных длин ПСП, принимая во внимание размер буфера передатчика устройства. Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты, полученные экспериментально для различных значений ширины полосы сигнала

Длина $m$ -последовательности, чипы	Ширина полосы, Гц					
	$500 \times 10^3$		$1 \times 10^6$		$2 \times 10^6$	
	SNR, дБ	Разм. буф., выборки	SNR, дБ	Разм. буф., выборки	SNR, дБ	Разм. буф., выборки
255	25.9806	20400	22.0787	10200	19.0587	5100
511	28.8806	40880	25.0806	20440	22.1406	10220
1023	-	81840	28.8106	40920	25.1706	20460
2047	-	163760	-	81880	28.3106	40940
4095	-	327600	-	163840	-	81900

Из таблицы 2 следует, что с ростом длины ПСП увеличивается отношение сигнал/шум, что удовлетворяет формуле усиления при обработке ШПС. Ис-

пользование более длинных ПСП с увеличением ширины полосы дало возможность получить практически одинаковое значение отношения сигнал/шум для рассматриваемых сигналов с разной шириной полосы.

**Заключение.** Разработано устройство, которое позволяет на доступной элементной базе с использованием открытых программных средств *GNU Radio* произвести анализ шумоподобных сигналов с различной шириной частотной полосы в вычислительной сети. С помощью этого устройства проведено сравнение отношений сигнал/шум  $m$ -последовательностей с длинами 255, 511, 1023 и 2047 чипов для ширины полосы 2 МГц. Максимальное значение отношения сигнал/шум было получено на ПСП 2047 чипов. Это объясняется тем, что 2 МГц в использованном образце устройства было выбрано максимально допустимой шириной полосы передаваемых сигналов. Экспериментально с учетом размера буфера передатчика были получены значения отношения сигнал/шум для разных значений ширины полосы сигнала (500 кГц, 1 МГц, 2 МГц) и различных длин ПСП. Использование более длинных ПСП с увеличением ширины полосы даёт возможность получить практически одинаковое значение отношения

сигнал/шум для рассматриваемых сигналов с разной шириной полосы. Предложенный способ оценки отношения сигнал/шум и разработанное устройство предполагается использовать в учебном процессе кафедры «Вычислительная техника» Пензенского государственного университета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пантюхин А.Р., Беляев А.С. Система определения местоположения объектов внутри помещений // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых : сб. научных трудов VI Всероссийской конференции – Томск : Изд-во Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015г. – С. 241–243.
2. Альшаев И.А., Лаврухин В.А. О проектировании и оптимизации сетей WI-FI // Информационные технологии и телекоммуникации – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016г. – Т. 4. – № 1. – С. 87–95.
3. Степанова И.В. Вопросы построения и проектирования систем беспроводного широкополосного доступа технологий Wi-Fi и Mesh // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт – Москва : Изд-во ООО «Издательский дом Медиа публишер», 2016г. – Т. 10. – № 2. – С. 25–33.
4. Репников А.И., Омаров А.В., Грязнов И.Е. Управление освещением на основе беспроводной сети Zigbee // Известия Волгоградского государственного технического университета – Волгоград : Изд-во Волгоградский государственный технический университет, 2018г. – № 2(212). – С. 83–85.
5. Матаева А.Б. Применение LoRa технологии для электронных билетов на железной дороге // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева – Алматы : Изд-во Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017г. – № 1(100). – С. 175–178.
6. Попов А.Ю., Кирьяненко А.В. Применение IOT технологий в сфере транспортной инфраструктуры на примере проекта «Система мониторинга парковочных мест» // «Синергия наук» – Санкт-Петербург: Изд-во Сиденко Александр Сергеевич, 2018г. – № 25. – С. 811–838.
7. Бекмагамбетова Ж.М., Липская М.А., Оразымбетова А.К., Оспанова Н.А. Ключевые особенности применения технологии LoRa при разработке сетей беспроводных датчиков // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева – Алматы : Изд-во Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017г. – № 2(101). – С. 164–170.
8. Semtech AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics – New York : Semtech corp., 2015г. – 26 с.
9. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд. – Москва : «Вильямс», 2017г. – 1100 с.
10. Meel J. Spread Spectrum – Jan De Nayerlaan : De Nayer Institute, 2000г. – 100 с.
11. Диксон Р.К. Широкополосные системы // Москва: Изд-во «Связь», 1979г. – 304 с.
12. Adrien Le Naour, Olivier Goubet, Christophe Moy, Pierre Leray Spread Spectrum Channel Sounder Implementation with USRP Platforms // SDR 11 Technical Conference and Product Exposition, 2011г. – С. 285–292.
13. Тумасов С.В., Таранцев Е.К. Макет сенсорной сети с использованием технологии SDR // Информационные технологии в науке и образовании. : сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015г. – С. 304–308.
14. Будников С.А., Шешковой А.С., Бондаренко В.С. Использование программно-определяемого радио для исследования трафика беспроводных сетей // «Охрана, безо-

пасность, связь» – Воронеж : Изд-во Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2017г. – № 1. – С. 225–231.

15. Фокин Г.А. Принципы и технологии цифровой связи на основе программно-конфигурируемого радио: обзор современных тенденций в области создания комплекса подготовки специалистов // Труды учебных заведений связи – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2019г. – Т. 5. – № 1. – С. 78–94.

16. Manjula V. K., s. Sandya SDR Solution to IEEE802.15.4 sub-1GHz band BPSK Modem // IEEE Sponsored 3rd International conference on electronics and communication systems (ICECS 2016) – IEEE, 2016г. – С. 2551–2555

17. Будников С.А. Исследование временных характеристик информационных потоков в беспроводных сетях // Перспективные методы и средства защиты информационной инфраструктуры : сборник статей конференции – Анапа : Изд-во ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2019г. – С. 257–265.

18. Matthias Schulz, Daniel Wegemer and Matthias Hollick. Nexmon: The C-based Firmware Patching Framework. URL: <https://nexmon.org> (дата обращения 18.01.2020)

19. Matthias Schulz, Jakob Link, Francesco Gringoli, and Matthias Hollick. Shadow Wi-Fi: Teaching Smartphones to Transmit Raw Signals and to Extract Channel State Information to Implement Practical Covert Channels over Wi-Fi. // Accepted to appear in Proceedings of the 16th ACM International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2018), 2018г. – С. 256–268.

20. Губайдуллин И.Р., Мамедов Т.Т. Цифровая обработка сигналов с применением RTL-SDR-приёмника на примере ЧМ-сигнала // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы – Москва : Изд-во Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем, 2019г. – Т. 6. – № 2. – С. 38–43.

21. S. Daumont, R. Basel, Y. Louet, Root-Raised Cosine filter influences on PAPR distribution of single carrier signals // 2008 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2008) – IEEE, 2008г. – С. 841–845

*Статья поступила в редакцию 06.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004.913

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0026

**ОБНАРУЖЕНИЕ СПАМА В СМС-СООБЩЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ  
WORD EMBEDDING И TERM FREQUENCY- INVERSE DOCUMENT FREQUENCY (TF-IDF)**

© 2020

**Аббаси Мохсин Маншад**, аспирант кафедры теоретических основ информатики (ТОИ),  
*Удмуртский государственный университет (УдГУ)*  
(426034, Россия, Ижевск, ул. Университетская, 1, e-mail: mohsinmanshad@gmail.com)  
*Университет АЖ & К, Музаффарабад*

**Бельтюков Анатолий Петрович**, профессор, доктор физико-математических наук,  
заведующий кафедрой теоретических основ информатики (ТОИ)  
*Удмуртский государственный университет (УдГУ)*  
(426034, Россия, Ижевск, ул. Университетская, 1, e-mail: belt.udsu@mail.ru)

**Лал Хусейн**, доцент кафедры компьютерных наук и информационных технологий  
*Университет АЖ & К, Музаффарабад*  
(13100, Пакистан, Азад Кашир, e-mail: lall\_hussain2008@live.com)

**Аббаси Аниес Камар**, аспирант  
*Технологический институт Карлсруэ, Германия*  
преподаватель кафедры компьютерных наук  
*Женский Университет АЖ & К;*  
(12500, Пакистан, Баг, Азад Кашир, e-mail: itsabbassi@gmail.com.)

**Аннотация.** Обнаружение спама - это идентификация нежелательной части информации из текстового корпуса. Она включает в себя классификацию нежелательного фрагмента текста, называемого спамом. Это важное направление исследований в области анализа текста. Наиболее распространенными видами спама являются спам в электронной почте и короткие текстовые сообщения (СМС). Они рассматриваются организациями как серьезное неудобство для клиентов, а также вредны для компьютерных систем. Традиционно целью спама была реклама продуктов и услуг потенциальному клиенту. Однако со временем люди стали использовать спам в качестве механизма взлома или атаки на системы с помощью вирусов. Ученые и исследователи предложили различные методологии для обнаружения спама и его фильтрации в электронных письмах. Но выявление спама в коротких текстовых сообщениях не привлекло большого внимания. В данной работе основное внимание уделяется разработке программы обнаружения спама в коротких текстовых сообщениях (СМС). Для этой цели используются две известные модели: Word embedding и Термин Частота - Обратная частота документа (TF-IDF). Эти Модели анализируют текст путем преобразования дискретного текстового сообщения в непрерывную числовую векторную форму. Вектор представляет каждое слово в тексте, а числовое значение размеров слова основано на контексте слова. Результаты исследования подробно изложены в разделах эксперимент и обсуждение.

**Ключевые слова:** спам, tf-idf, Word embedding, СМС, обнаружение, машинное обучение, особенности, размеры.

**SPAM DETECTION IN SHORT TEXT MESSAGES (SMS) USING WORD EMBEDDING AND TERM  
FREQUENCY- INVERSE DOCUMENT FREQUENCY (TF-IDF)**

© 2020

**Abbashi Mohsin Manshad**, postgraduate student of the  
Department of Theoretical Foundations of Informatics (TOI),  
*Udmurt State University (Udmurt State University)*  
(426034, Russia, Izhevsk, Universitetskaya St., 1, e-mail: mohsinmanshad@gmail.com)  
*AJ & K University, Muzaffarabad*  
(13100, Pakistan, Azad Kashmir)

**Belyukov Anatoly Petrovich**, professor, doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Head of the Department of Theoretical Foundations of Informatics (TOI)  
*Udmurt State University (Udmurt State University)*  
(426034, Russia, Izhevsk, Universitetskaya St., 1, e-mail: belt.udsu@mail.ru)

**Lal Hussein**, associate Professor, Department of Computer Science and Information Technology  
*AJ & K University, Muzaffarabad*  
(13100, Pakistan, Azad Kashmir, e-mail: lall\_hussain2008@live.com)

**Abbasi Anies Qamar**, postgraduate student  
*Institute of Technology Karlsruhe, Germany*  
lecturer, Department of Computer Science  
*Women's University AJ & K*

(12500, Pakistan, Bagh, Azad Kashmir, e-mail: itsabbassi@gmail.com.)

**Abstract.** Spam detection is the identification of unwanted piece of information from a text corpus. It includes classification of non-desirable piece of text as spam. It is an important field of research in text analysis. The most common types of spam are email spam and short text messages (SMS) spam. They are considered as a serious inconvenience for the clients and are harmful for the computer systems. Traditionally the purpose of spam was doing advertisement of products and services to a potential customer. However, with time people are using spam as a mechanism of doing hacking or attacking the systems with viruses. The scientists and researchers have proposed different methodologies for spam detection and its filtration in emails. But the spam identification in short text messages did not get much attention. In this work, the focus is to develop a model for spam detection in short text messages (SMS). For this purpose, two famous models Word embedding and Term Frequency – Inverse Document Frequency (TF-IDF) models are used. These Models analyze text by converting the discrete text message to a continuous numerical vector form. A vector represent each word in the text, and the numerical value of the dimensions of a word is based on the context of the word. The results of the research are detailed in methodology and experiment sections of the paper.

**Keywords:** spam, tf-idf, Word embedding, SMS, detection, machine learning, features, dimensions

**Введение.** Технология и ее развитие сделали процесс общения эффективным и действенным. Наиболее распространенной формой обмена информацией являются электронные письма и короткие текстовые сообщения (СМС). Короткие текстовые сообщения могут быть разных форм. Они могут передаваться через локальную мобильную сеть, могут быть приложениями *Viber* или сообщениями *WhatsApp*. Компании используют эти короткие текстовые сообщения (СМС) как средство рекламы своих продуктов и услуг для клиентов. Люди часто находят раздражающим получение спама в огромном количестве и считают это некомпетентностью поставщиков услуг по обнаружению и фильтрации этих сообщений. Помимо рекламы, спам также содержит подозрительные ссылки и файлы. Загрузка и запуск подозрительного файла может привести к нарушению безопасности системы или сервера. Аналогичным образом, нажатие на ссылку может перевести систему на сайт с вирусами или вредоносными программами. Такие спам-сообщения используют большую часть пропускной способности сети. Существуют различные методы предотвращения спама и его маршрутизации через Интернет, но, поскольку Интернет общедоступен, его нельзя полностью контролировать.

В случае электронной почты существуют различные модели и правила, которые используются для классификации электронной почты под меткой спам или не спам перед отправкой клиенту. Он включает в себя такие фильтры, как массовый почтовый фильтр, явную блокировку, размещение нулевого отправителя и проверку заголовка пустого отправителя. Обнаружение спама в коротких сообщениях (СМС) не привлекло большого внимания исследователей. Имеется ряд существенных различий между обнаружением спама в электронной почте и в текстовых сообщениях. Для коротких текстовых сообщений доступно несколько баз данных с ограниченной длиной текстовых сообщений. Небольшая длина текста препятствует ухудшению классификации и способности прогнозирования алгоритма. В основном это короткие сообщения без заголовков. В некоторых случаях первые несколько предложений используются для определения темы текстового со-

общения. В коротких сообщениях используется много символов и неформальных слов. Эти факторы увеличивают сложность процесса обнаружения спама в таких сообщениях.

**Материалы и результаты исследования.** В этой исследовательской работе для обнаружения спама в коротких текстовых сообщениях используются два известных механизма обработки естественного языка *Word embeddings* и *TF-IDF*.

**Word embedding.** *Word embedding* - это механизм представления текста в виде векторов числовых значений. Он использует словарь *FastText*, который состоит из миллиона уникальных токенизированных слов в английском языке вместе с 300 измерениями (*dimensions*). Пространственный вектор используется для идентификации отношений между двумя словами. Например, слово мужчина и женщина имеют аналогичное измерение, чем слово мужчина и яблоко.

*N*-мерный вектор из текста генерируется с помощью функции *Word2Vec*. *Word2Vec* преобразовывает дискретные символы в непрерывные векторы числовых значений. Данная система работает на гипотезе распределения. В функции *Word2Vec* большой текстовый корпус использует алгоритм *Unsupervised*. Здесь для каждого слова в тексте его смысл прогнозируется с использованием контекста *BAG-OF-WORDS (CBOW)*. *Word2Vec* - это нейронная сеть с одним скрытым слоем (с размером *d (dimensions)*) и функцией оптимизации отрицательная выборка (*Negative-Sampling*).

**Term Frequency – Inverse Document Frequency (TF-IDF).** Похожий на *Word embedding*, *TF-IDF* представляет собой механизм для представления текстовых документов в матричной форме. Каждый текстовый документ преобразуется в строку матрицы *TF-IDF*. *TF-IDF* это разреженная матрица, в которой количество ненулевых элементов в векторах равно количеству уникальных слов в документах. Для создания матрицы *TF-IDF* из текстового документа предварительно обрабатывается документ, который включает в себя удаление из него *STOPWORDS*, чисел, знаков пунктуации и использование заглавных букв всех слов документа.

Например, для предложений. *King is great. He is not*

*stupid. He is intelligent.* Матрица *TF-IDF* в ее простом виде будет:

Таблица 1 – *TF-IDF* матрица предложений

Sentence/ Document	King	is	Great	He	Not	stupid	Intelligent
S1	1	1	1	0	0	0	0
S2	0	0	0	1	1	1	0
S3	0	1	0	1	0	0	1

*S1* представляет текст или предложение. Каждое слово в тексте имеет свой собственный вектор-столбец в зависимости от его вхождения в разных предложениях текста. *TF-IDF* генерирует вектор для каждого слова в тексте.

**История анализа эмоций.** Развитие общей системы запросов (1996) (Филиппа Стоун, [1]) стала первой для определения эмоций в тексте. Обычно система подсчитывает примеры положительных и отрицательных эмоций. После этого было проделано много работы для определения эмоций, выраженных в текстах на различных языках. Важным вкладом стали труды Яниса Виби, Петера Терни и Василеуса Хацивасилоглу в ранние 90-е. Янис Виби (1990, [2]) определяет термин «Субъективность» для исследования поиска информации. Позднее, в 1997 году, Хацивасилоглу и др. [3] определил семантическую ориентацию прилагательных. Спустя несколько лет Петер Терни [4] нашел революционный подход *Thumbs Up* (знак поднятый большой палец) и *Thumbs Down* (знак опущенный большой палец) для классификации положительных и отрицательных отзывов. Авторы Пэнг и др. в 2002 году [5] предложили вручную создать лексикон настроений для обзоров фильмов. Они пришли к выводу, что методы машинного обучения лучше выполняются на созданном вручную лексиконе для анализа настроений. Автор Денеке в 2009 году [6] объявил интересное исследование нескольких доменов, чтобы продемонстрировать преимущество предварительной оценки полярности в *SentiWordNet*. *SentiWordNet* - это онлайн-ресурс, содержащий список слов, используемых для выражения эмоций. Каждое слово имеет определенное значение, называемое знаком полярности, которое может быть положительным, отрицательным или нейтральным в зависимости от типа эмоций, которые оно выражает. В России исследования, посвященные анализу чувств, до 2011 года не так многочисленны. Ермаков представил в 2009 году [7] систему анализа чувств, выявляющую мнения об автомобилях в российских блогах. Анализ эмоций в тексте на русском языке в основном появляется в многоязыковых экспериментах. В международных исследованиях анализ русского настроения проявляется главным образом в многоязычных экспе-

риментах. Загibalов и др, в 2010 году [8] представил сопоставимые экземпляры книжных обзоров, состоящие из двух частей: русской и английской, представляющих два очень разных языка. Корпусы сопоставимы по размеру и стилю. Они также содержат краткое описание специфики языка и области, которые наблюдаются в этих корпусах. В книге Штайнбергера и др в 2011 году [9] описана конструкция вокабулярий общих эмоций для различных языков.

Первая попытка анализа шаблонов спама в тексте была сделана в 2001 году Фабрицио Себастьяни. Он использовал анализ текста для изучения и обнаружения спам-паттернов в большом количестве текста. Он сделал классификацию текста для извлечения полезной информации, связанной с содержанием сообщений [10]. В 2004 году Делани и др. использовали наивный байесовский классификатор и алгоритм опорных векторов для представления признаков коротких текстовых сообщений. Согласно им, идентификация спама и его фильтрация из текста является важным механизмом в мире беспроводной связи [11]. В 2006 г. Идальго и соавторы для проведения эксперимента использовали набор данных СМС на испанском и английском языках. Они предположили, что байесовские методы фильтрации выполнялись лучше, чем другие методы машинного обучения [12]. В 2007 году Кормак и соавторы использовали методы представления особенностей для выявления спама. Они пришли к выводу, что для выявления спама необходим хороший уровень адаптации алгоритма к набору функций [13]. В 2011 году Джунаид и соавторы представили механизм рассылки спама в коротких текстовых сообщениях (СМС). Они изучили поведение клиента при получении спама СМС и наблюдали за нарушениями политики конфиденциальности [14]. В 2012 году Делани и др. изучили увеличение использования коротких текстовых сообщений в развивающихся странах. Они определили причины резкого увеличения его использования и проблемы, возникающие из-за этого роста [15]. В течение того же года Идальго и соавторы изучали прикладные алгоритмы машинного обучения на СМС-спаме. Они отметили, что машина опорных векторов работала лучше, чем другие алгоритмы идентификации спама СМС [16]. В 2013 году Алмейда и др. использовали набор данных для сбора неповторяющихся сообщений. Они применяли разные алгоритмы для классификации спама по разным категориям [17]. В 2015 году Дипак и соавторы сделали классификацию спама СМС с использованием алгоритма, названного «Слабым алгоритмом». Они создали программу, используя «Слабый алгоритм», чтобы рассчитать ее точность для классификации спама. По их словам, данная программа обладает высокой точностью обнаружения спама в СМС [18]. В 2016 году Сулиман и соавторы использовали общие символы в качестве механизма идентификации текстовых сообщений со

спамом [19]. В 2018 и 2019 годах Аббаси и соавторы изучили внутреннюю структуру эмоций в тексте. Они проанализировали логические, семантические и синтаксические характеристики текстового документа [20-23]. Было отмечено, что в основном исследователи использовали классический метод обнаружения спама в коротких текстовых сообщениях. Размер набора данных был очень ограничен. Они использовали словарь тэгов общих символов или слов, которые считаются спамом. Когда размер набора данных увеличивается, эффективность и точность алгоритмов уменьшается. В этой работе предложенная методология использовала современный словарь *Word embedding*, который преобразует каждое слово текста в непрерывный вектор числовых значений с  $N$  номером измерения, представляющим глобальное содержимое. Принимая во внимание, что матрица *TF-IDF* содержит векторные значения слова на основе его локального контекста в конкретном текстовом документе. Производительность обеих моделей для обнаружения спама анализируется и сравнивается. Для эксперимента на обеих моделях используется набор данных спама из (<https://www.kaggle.com/uciml/СМС-spam-collection-dataset>). Набор данных представляет собой набор из 5 574 коротких сообщений СМС на английском языке, которые помечены как *Ham* или *Spam*. Набор данных в формате *CSV* был загружен и реализован с использованием набора инструментов языка программирования *Matlab*. Модели *Word embedding* и *TF-IDF* были обучены и протестированы на наборе данных спама. *Word embedding* состоит из токенизированных слов с 300 измерениями каждого слова. В случае обучения модели для обнаружения спама требуется фраза составных слов из набора данных спама. Для этой цели токенизированные слова из вложения *Word* были объединены для создания словосочетания. Каждая фраза состоит из 15 слов, которые показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Фразы и их категория для обучения модели

Category	Phrase
Ham	Go until jurong point crazy Available only in bugis great world buffet Cine there got
Spam	Free entry 2 wkly comp to win FA Cup final tkts 21st May 2005 Text
Ham	Even my brother not like to speak with me They treat me like aids patent
Ham	I m gonna home soon I don't want to talk about this stuff anymore tonight
Ham	Even my brother not like to speak with me They treat me like aids patent
Spam	England v Macedonia dont miss the goals team news Txt ur national team to 87077
Spam	Had your mobile 11 months more entitled Update latest colour mobiles with camera for Free
Ham	Is that seriously how you spell his name and where do you meet him everyday
Ham	Thats cool I am gentleman and will treat you with dignity and respect as I.
Ham	Yes I started send requests make it but pain came back so I m back

Размеры каждой фразы в этом случае становятся  $15 \times 300 = 4500$  размеров. В случае, если в последнем

предложении или фразе не останется 15 слов, место пропущенных слов будет заменено векторами нулей для уравнивания фразы. Текст был преобразован в вектор непрерывных числовых значений и был сохранен в таблицу, которая состоит из номера документа  $\times$  вектор признаков. Модель создана для проведения обучения и тестирования набора данных спама, который можно увидеть на рисунке 1 ниже.

```
emb = fastTextWordEmbedding

filename = "spam.csv";
data = readtable(filename, 'TextType', 'string');
textData = data.text;
documents = tokenizedDocument(textData);
sequences = doc2sequence(emb, documents, 'Length', 15);

% Initialize the table and add the data
data = table;
data.word = [label;sequences];
pred = [label;sequence];
data = [data array2table(pred)];
data.resp = zeros(height(data), 1);
data.resp(1:length(sequence)) = 1;

% Preview the table
head(data(:, [1, end, 2:8 ]))

rng('default') % for reproducibility
c = cvpartition(data.resp, 'Holdout', 0.6);
train = data(training(c), 2:end);
Xtest = data(test(c), 2:end-1);
Ytest = data.resp(test(c));
Itest = data(test(c), 1);
Ltest.label = Ytest;
```

Рисунок 1 – Код для создания модели *Word embedding* для обучения и тестирования набора данных

Для преобразования текста в документ «Матрица Термин Частота - Обратная частота документа» (*TF-IDF*) вычисление было выполнено с использованием формул:

$$TFIDF = TF \times IDF$$

$$TF = \frac{\text{No. of repetitions of a word in a document}}{\text{Total No. of words in a document}}$$

$$IDF = \text{Log} \left( \frac{\text{No. of documents}}{\text{No. of documents containing word}} \right)$$

Например, для предложений: *King is great. He is not stupid. He is intelligent.* *IDF* представлен в таблице 3.

Таблица 3 Матрица *IDF* для слов из трех предложений

Word	IDF value	Doc 1	Doc 2	Doc 3
King	$\text{Log}(3/1) = 1.09$	1/3	0/4	0/3
Is	$\text{Log}(3/3) = 0$	1/3	1/4	1/3
Great	$\text{Log}(3/1) = 1.09$	1/3	0/4	0/3
He	$\text{Log}(3/2) = 0.41$	0/3	1/4	1/3
Not	$\text{Log}(3/1) = 1.09$	0/3	1/4	0/3
Stupid	$\text{Log}(3/1) = 1.09$	0/3	1/4	0/3
Intelligent	$\text{Log}(3/1) = 1.09$	0/3	0/4	1/3

The *TF-IDF* значения матрицы для трех приведенных выше предложений представлены в таблице 4.

Таблица 4 – TF-IDF Матрица для слов из трех предложений

Doc.	King	is	Great	He	Not	stupid	Intelligent
S1	0.363	0	0.363	0	0	0	0
S2	0	0	0	0.102	0.272	0.272	0
S3	0	0	0	0.446	0	0	0.363

Для обнаружения спама из коротких текстовых сообщений было выбрано 4500 наиболее часто встречающихся уникальных слов для обучения модели TF-IDF. Была создана таблица, состоящая из номера документа × вектор объекта. Каждый документ был представлен строкой, а каждое слово имело свой собственный вектор-столбец. TF-IDF был намного эффективнее Word embedding в использовании. Код для создания TF-IDF можно наблюдать на рисунке 2.

```
data = table;
data.word = [label;sequences];
pred = [label;sequence];
data = [data array2table(pred)];
data.resp = zeros(height(data),1);
data.resp(1:length(sequence)) = 1;

head(data(:, [1,end,2:8 ]))

rng('default')
c = cvpartition(data.resp, 'Holdout', 0.6);
train = data(training(c), 2:end);
Xtest = data(test(c), 2:end-1);
Ytest = data.resp(test(c));
Ltest = data(test(c), 1);
Ltest.label = Ytest;

% Train model
mdl = fitcdiscr(train, 'resp');
% Predict on test data
Ypred = predict(mdl, Xtest);
cf = confusionmat(Ytest, Ypred);

% Display results
```

Рисунок 2 – Код для обучения и тестирования набора данных спама

Для целей обучения использовалось 60% набора данных, а остальные – для целей тестирования. SVM применяется для обучения обеих моделей, и результаты приведены ниже в таблице 5.

Таблица 5 Сравнение модели TF-IDF и Word embedding для обнаружения спама

Model	Precision	Recall	F1 Score
TF-IDF	0.9726	0.8567	0.91052
Word embedding	0.9612	0.8236	0.89012

Из приведенной таблицы 5 можно наблюдать, что TF-IDF работает лучше и имеет высокие значения точности, отзыва и F1 Score. Word embedding является более сложным по своей природе и требует больше времени для выполнения.

**Заключение.** Исследование состоит из анализа проделанной работы по обнаружению спама в коротких текстовых сообщениях (СМС). Было отмечено, что эта область до сих пор не исследована, и предлагаемых методов недостаточно для больших наборов данных с неформальными символами и словами. В этом исследовании две современные модели обработки естественного языка использовались для обнаружения спама из набора коротких текстовых сообщений. Было отмечено, что модель TF-IDF работает лучше, чем Word embedding. В TF-IDF меньше шансов на подгонку (Over fitting) по сравнению с Word embedding, так как словарь небольшой, и правила могут быть сделаны только для часто встречающихся примеров в наборе обучающих данных. Вложение слов содержит много неиспользуемых и ненужных символов для анализа текста.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Stone P.J., Dunphy D.C., Smith M.S. The General Inquirer: A Computer Approach to Content Analysis / MIT Press - Cambridge, 1966. 519 p.
2. Wiebe, Janyce M. Identifying Subjectivity characters in Narrative // Proc. 13th International Conference on Computational Linguistics. Helsinki, 1990, pp. 401-408.
3. Vasileios H., Kathleen R. M. Predicting the Semantic Orientation of Adjectives // Proc. 8th Conference on European chapter of the Association for Computational Linguistics. Spain, 1997, pp 174-181.
4. Peter D. T. Thumbs Up or Thumbs Down? Semantic Orientation Applied to Unsupervised Classification of Reviews // Proc. of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Philadelphia, 2002, pp. 417-424.
5. Pang B., Lee L. Thumbs up? Sentiment Classification using Machine Learning Techniques // Proc. Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Philadelphia, 2002, pp. 79-86.
6. Denecke K. Are SentiWordNet scores suited for multi-domain sentiment classification? // Proc. 4th International Conference on Digital Information Management. USA, 2009, pp. 33-38.
7. Ermakov A. Knowledge extraction from text and its processing: Current state and prospects // Proc. of the Computational Linguistics and Intellectual Technologies. 2009, pp. 50-55.
8. Zagibalov., Taras., Belyatskaya et al. Comparable English-Russian Book Review Corpora for Sentiment Analysis. Russia, 2010. 67 p.
9. Steinberger J., Lenkova P., Kabadjov M. Multilingual Entity-Centered Sentiment Analysis Evaluated by Parallel Corpora // Proc. of Recent Advances in Natural Language Processing. Bulgaria, 2011, pp. 770-775.
10. Fabrizio Sebastiani. Machine Learning in Automated Text Categorization // arXiv:cs/0110053 [cs.IR] Oct 2001
11. Delany. Sarah Jane., Pádraig Cunningham. An analysis of case-base editing in a spam filtering system //Advances in Case-Based Reasoning, Springer Berlin Heidelberg, 2004. pp. 128-141.
12. Gómez H.J., Cajigas B.G., Puertas S.E., Carrero G.F. Content Based SMS Spam Filtering // Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Document Engineering (ACM DOCENG'06), Amsterdam, The Netherlands, 2006, pp. 10-13.
13. Cormack G.V., Gómez J. M., Puertas S.E. Feature engineering for mobile (SMS) spam filtering // Proceedings of the 30th Annual international ACM Conference on Research and Development in information Retrieval (ACM SIGIR'07), New York, NY,

2007, pp. 871-872.

14. Bilal J., Muddassar F. Using Evolutionary Learning Classifiers to Do Mo-bile Spam (SMS) Filtering // GECCO'11, July 2011, Dublin, Ireland.

15. Delany S.J., Buckley M., Greene D. SMS Spam Filtering: Methods and Da-ta // Expert Systems with Applications, 2012, vol. 39, issue 10, pp. 9899-9908.

16. Gómez H., J.M Almeida., Yamakami A. On the Validity of a New SMS Spam Collection // Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA'12), Boca Raton, FL, USA, 2012.

17. Almeida T.A., Gómez J.M., Silva, T.P. Towards SMS Spam Filtering: Re-sults under a New Dataset // International Journal of Information Security Science (IJISS), 2013, vol. 2, issue 1, pp. 1-18.

18. Dipak R., Kawade., Kavita S. SMS Spam Classification using WEKA // In-ternational Journal of Electronics Communication and Computer Technolo-gy (IJECCCT), 2015, vol. 5, issue 1, pp. 43-47.

19. Sulaiman N.F., Jali M.Z. (2016) A New SMS Spam Detection Method Using Both Content-Based and Non Content-Based Features // Advanced Computer and Communication Engineering Technology. Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, 2016, vol. 362. pp. 505-514.

20. Beltiukov A. P., Abbasi M.M. Logical analysis of Emotions in Text from Natural language // Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Matematika. Mek-hanika. Komp'yuternye Nauki, Ижевск, 2019, vol. 1, issue. 29, pp. 106-116.

21. Abbasi M.M., Beltiukov A.P. Identifying the strength of emotions in re-lation with the topic of text using Word space // Proceedings of the 21th in-ternational workshop on computer science and information technologies, Austria, Vienna, 2019 // Journal of Atlantis Highlights in Computer Sci-ences, 2019, vol. 3, pp. 1-5.

22. Abbasi M.M., Beltiukov A.P., Hussain Lal., Abbasi A.Q. Analysis of emotions from texts for managing society // Infocommunication technolo-gies Journal, Academy of Telecommunications and In-formatics, Samara, 2019, vol. 2, issue. 17, pp. 246-254.

23. Abbasi M.M., Beltiukov A.P. Summarizing emotions from text using Plutchik wheel of emotion// Proceedings of the 7th All Russian Conference on Information technology for intelligent decision making support (ITIDS), Ufa, Russian Federation, 2019, vol. 166, pp. 291-294.

*Статья поступила в редакцию 10.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004.67

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0027

## ВОЗМОЖНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОИСКА ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ В «ВКОНТАКТЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ОБ ОЦЕНКАХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДРУГОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

© 2020

**Коростелев Александр Владимирович**, аспирант кафедры «Информационные технологии и системы»

**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-mails: bezpaniki@hotmail.com, alexey314@yandex.ru)*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию вопросов, связанных с возможностью автоматизации процесса поиска целевой аудитории в социальной сети «ВКонтакте» с использованием данных об оценках пользователей другой социальной сети. Установлено, что одним из наиболее популярных и эффективных видов маркетинга является таргетированный маркетинг, позволяющий оптимизировать рекламные кампании и нацелить их на потенциальных клиентов. Применяя технологии интеллектуального анализа данных на оценках пользователей, можно установить различные группы кинолюбителей, схожих по интересам. Имея информацию о сообществах этих групп в социальных сетях, представляется возможным установить оптимальные ресурсы для проведения рекламных кампаний и найти большое количество потенциальных клиентов. Подробно описаны данные с портала «Кинопоиск», необходимые для дальнейшего анализа и кластеризации, а также методы их сбора. Построены парсеры, специализированные под нужды исследования, при помощи которых получена информация об оценках пользователей, проставленных недавно вышедшим фильмам. Рассмотрены основные методы кластеризации, а также способы валидации результатов кластерного анализа. В качестве способа сокращения признакового пространства предложен метод главных компонент. Алгоритмы k-means, pam, CLARA и иерархическая кластеризация применены к набору данных с оценками пользователей «Кинопоиска». Согласно определенным метрикам качества, оптимальной кластеризацией оказалась иерархическая кластеризация на 3 кластера датасета, преобразованного с помощью метода главных компонент. Модель классификации была построена при помощи алгоритмов бэггинга, бустинга, дерева решений и метода опорных векторов. Наилучший результат показал классификатор, основанный на дереве решений – его средняя точность составила более 80%.

**Ключевые слова:** автоматизация поиска, алгоритм, валидация, кластеризация, классификация, модель, нормализация, профиль пользователя, социальная сеть, статистические данные, Big Data.

## THE ABILITY TO AUTOMATE THE PROCESS OF SEARCHING FOR A TARGET AUDIENCE IN VKONTAKTE USING DATA ABOUT THE RATINGS OF USERS OF ANOTHER SOCIAL NETWORK

© 2020

**Korostelev Alexander Vladimirovich**, postgraduate of sub-department «Information technologies and systems»

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

**Abstract.** The article is devoted to the study of issues related to the possibility of automating the process of searching for a target audience in the social network «Vkontakte» using data on the ratings of users of another social network. It is established that one of the most popular and effective types of marketing is targeted marketing, which allows you to optimize advertising campaigns and target them to potential customers. By using data mining technologies based on user ratings, you can identify different groups of movie fans with similar interests. With information about the communities of these groups in social networks, it is possible to establish optimal resources for advertising campaigns and find a large number of potential customers. Data from the «Kinopoisk» portal that is necessary for further analysis and clusterization, as well as methods for collecting them, are described in detail. Built parsers that are specialized for the needs of research, which provides information about user ratings assigned to recently released movies. The main clustering methods and methods for validating the results of cluster analysis are considered. The principal component method is proposed as a method for reducing the feature space. The K-means, pam, and CLARA algorithms and hierarchical clustering are applied to a dataset with «Kinopoisk» user ratings. According to certain quality metrics, the optimal clustering was hierarchical clustering into 3 clusters of a dataset converted using the principal component method. The classification model was constructed using bagging, boosting, decision tree, and support vector machine algorithms. The best result was shown by the classifier based on the decision tree – its average accuracy was more than 80%.

**Keywords:** search automation, algorithm, validation, clustering, classification, model, normalization, user profile, social network, statistics, Big Data

**Введение.** Сегодня персонализация занимает важное место в сфере веб-маркетинга. Компании хотят оптимизировать свою рекламу и сделать ее максимально гибкой, подстраиваясь под вкусы и предпочтения разных категорий людей, которые, в свою очередь, хотят получать персонализированные предложения и видеть рекламу того, что им интересно. Статистика показывает, что большинство потребителей (более 71%) предпочитают персонализированные рекламные объявления [1]. В свою очередь доступность интеллектуальных технологий, больших данных, методов и инструментов для их сбора открывают возможности для персонализации и таргетинга. Область киноиндустрии в России стремительно развивается и требует поддержки современных способов маркетинга для продолжения и оптимизации этого роста. Поэтому поиск целевой аудитории в этой сфере – актуальная и полезная задача, требующая максимальной сегментации потенциальных клиентов и наиболее персонализированных предложений для достижения высокой эффективности.

**Цель** проводимого исследования – автоматизация процесса поиска аудитории в сфере киноискусства в социальной сети (СС) «ВКонтакте» с использованием данных об оценках пользователей веб-ресурса «Кинопоиск». Предмет исследования – процесс автоматизации поиска целевой аудитории в СС «ВКонтакте» в сфере киноискусства, а объект – данные об оценках пользователей «Кинопоиска» и их сообществах в СС «ВКонтакте». Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие частные задачи:

1. Собрать и обработать данные об оценках пользователей сети «Кинопоиск»;
2. Представить модель кластеризации пользователей «Кинопоиска» и составить основанные на их предпочтениях тематические профили;
3. Разработать алгоритм поиска тематических сообществ по выделенным кластерам;
4. Представить модель классификации кино по выделенным кластерам.

**Материалы исследования.** Сегодня Интернет представляет собой площадку для реализации возможностей *digital*-маркетинга. Присутствие компании стало практически обязательным условием для успешного ведения бизнеса. Эволюция *Big Data* и передовые аналитические технологии позволяют маркетологам разбираться в своей целевой аудитории как никогда прежде и выстраивать рекламные кампании, принимая во внимание особенности и интересы потенциальных или существующих клиентов. Согласно исследованиям [2], маркетологи все больше погружаются в так называемую «умную рекламу», основывая свои стратегии на данных аккаунтов, однако искусственный интеллект помогает перейти на совершенно новый уровень анализа. В последнее время в России все большую популярность набирают онлайн-кинотеатры – стриминговые сервисы, где по подписки клиенты имеют возможность смотреть

свежие фильмы и сериалы в хорошем качестве (рис. 1).



Рисунок 1 – Динамика российского рынка онлайн-кинотеатров, в млрд. рублей

На Западе такие площадки уже давно поглотили рынок [3]. Огромную роль в популяризации сервисов на Западе стало умение грамотно пользоваться интеллектуальными технологиями и *Big Data* при разработке маркетинговых кампаний. Ключевую роль в становлении *Netflix* стриминговым сервисом номер один сыграло использование *Big Data* и искусственного интеллекта для понимания своей аудитории и их интересов, в том числе и в маркетинговых стратегиях [4]. Для того, чтобы построить гибкий инструмент таргетирования, который смог бы учитывать разнообразие вкусов потенциальных клиентов-кинолюбителей, необходимо иметь большой набор данных, на котором можно было бы построить такого рода алгоритм. Набор должен учитывать специфику разных групп клиентов, их отношения к кинокартинам того или иного рода. Крупнейшим и наиболее известным является веб-платформа «Кинопоиск» – русскоязычный интернет-проект, посвященный кинематографу. Сайт предоставляет информацию о кинофильмах, телесериалах, а также о личностях, связанных с кино- и телепроизводством: актерах, режиссерах, продюсерах, сценаристах, операторах, композиторах, художниках и монтажерах, а также имеет возможности СС. Здесь можно ставить оценки, находить друзей по интересам и смотреть фильмы онлайн на партнерских ресурсах. Итак, каждый фильм на «Кинопоиске» может быть оценен по десятибалльной шкале – от единицы (хуже некуда) до десятки (шедевр). Оценивать фильмы могут только зарегистрированные пользователи. Чтобы зарегистрироваться на «Кинопоиске», можно использовать авторизацию через другие СС – «ВКонтакте», «Facebook», «Twitter». СС – один из самых эффективных инструментов для продвижения релизов с четко сформированной аудиторией, так как с их помощью можно максимально таргетировать рекламные сообщения на целевые группы. СС могут стать важным инструментом продвижения в случае как узкожанрового продукта, так и блокбастера. Зная с большой долей вероятности, что та или иная картина понравится некоторой группе пользователей, основываясь на их предыдущих оценках и предпочтениях, можно оптимизировать рекламную кампанию гораздо эффективнее, нежели используя

некоторые абстрактные характеристики, которые используются маркетологами без привлечения интеллектуальных технологий и анализа – например, возраст, пол, регион и прочее [5].

«ВКонтакте» как СС, обладающая наиболее молодой и активной аудиторией, служит первым выбором у дистрибьюторов в подавляющем большинстве случаев. «ВКонтакте» является самой популярной СС в России, ежемесячная аудитория которой превышает 100 миллионов пользователей. Неудивительно, что «ВКонтакте» является одним из самых популярных инструментов для проведения рекламных кампаний. «ВКонтакте» предлагает несколько видов рекламы: таргетированная реклама, реклама в сообществах, специальные проекты (стикеры, чат-боты, трансляции, брендированные подарки, интеграция бренда в игры и приложения) [6]. Как для таргетированной рекламы, так и для рекламы в сообществах можно использовать данные о тех пользователях «Кинопоиска» с привязанной страницей «ВКонтакте», которые оценили похожие фильмы на высокую оценку. Тематики сообщества «кино» недостаточно, чтобы определить, насколько может понравиться участникам этого сообщества фильм того или иного жанра или совокупности жанров, той или иной страны, того или иного режиссера. «ВКонтакте» существует тысячи групп подобного жанра – необходимо узнать, в которых из них процент целевой аудитории оптимальный. Кроме того, с помощью потенциального маркетингового инструмента, основанного на данных из «Кинопоиска», который является целью данной научно-исследовательской работы, можно будет использовать не только сообщества тематики «кино»: выяснив класс людей, которым нравятся фильмы определенного типа, можно размещать рекламу в таких сообществах, где скопление людей этого «класса» максимально. В современном мире оформление страницы в СС, в частности, сообщества пользователя, очень хорошо характеризуют его интересы и даже тип мышления. Таким образом, необходимо находить некоторые неочевидные, скрытые зависимости между вкусами пользователя в кино и его группами «ВКонтакте». Собрав информацию о сообществах «ВКонтакте» пользователей сети «Кинопоиск», можно будет оценить распределение любителей тех или иных жанров, режиссеров, актеров в разных сообществах, используя оценки пользователей. Итак, для создания качественного инструмента по нахождению целевой аудитории, необходимо собрать данные об оценках пользователей на «Кинопоиске», изучить корреляцию между жанрами, кластеризовать пользователей по предпочтениям, изучить страницы «ВКонтакте» пользователей определенных классов и найти оптимальные сообщества для рекламы.

Для сегментации аудитории с целью таргетирования рекламы существует некоторые сервисы, например, «Pepper» [2], «Церебро» [7], «Сегмент таргет» [8], «Oktarget.ru» [1]. Основные функции,

преимущества и недостатки перечисленных сервисов сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение аналогов

Программа	Критерий		
	Поддержка «ВКонтакте»	Учитывает специфику компании	Интеллектуализация поиска
Pepper	Да	Да	Нет
Церебро	Да	Нет	Нет
Сегмент таргет	Да	Нет	Нет
Oktarget.ru	Нет	Нет	Нет

Проанализировав таблицу 1, резюмируем, что данные инструменты неплохо взаимодействуют с СС, но все они используют набор примерно одинаковых статистических показателей, не применяя интеллектуальный анализ данных и не извлекая потенциальных знаний о пользователях и их настоящих предпочтениях, который смог бы максимально поднять уровень таргетизации для рекламных кампаний. Описываемый в статье инструмент позволяет обосновать сегментацию пользователей, учитывая не только такие статистические параметры, но и используя реально предоставленные пользователем оценки, реальные данные о предпочтениях клиента, который он сам публично предоставил.

**Методы и результаты исследования.** Чтобы получить инструмент для эффективного таргетированного маркетинга в сфере киноискусства, необходимо собрать достаточно большое количество данных о пользователях и их предпочтениях в кино. Для этой цели было принято использовать портал «Кинопоиск». Имея информацию о предпочтениях тех или иных групп пользователей, мы имеем возможность проанализировать их профили в СС «ВКонтакте», определив, в каких сообществах «обитают» разные группы пользователей, можно найти похожие сообщества с предполагаемой целевой аудиторией, таким образом, определив искомые группы с целевой аудиторией.

Сервис «Кинопоиск» хранит огромное количество данных о фильмах и пользователях, представляющих собой потенциал для анализа, и формируют перспективную *Big Data*, которую можно использовать в целях кастомизации, персонализации и маркетинга. Информация о пользователях также представляет собой огромный потенциал: здесь можно найти их оценки по каждому фильму, количество оцененных картин, друзей, любимые фильмы, средние оценки по жанрам, годам и многое другое. Для нашей конкретной цели было решено собирать данные именно об оценках пользователей и их близости между собой, не беря в расчет характеристики самих фильмов на первом этапе. Далее, имея сегментацию пользователей и относящиеся к каждому сегменту фильмы, можно будет выявить закономерности между характеристиками этих кинокартин, чтобы в дальнейшем иметь возможность классифицировать новый вышедший фильм. На «Кинопоиске» заре-

гистрировано более 7 миллионов пользователей, многие профили которых были удалены или не используются. Некоторые профили заброшены и имеют лишь по одной или две оценки за все время существования. Поэтому параметр «дата последней записи», существующий в характеристиках профиля, тоже не может однозначно ответить, что человек действительно пользуется «Кинопоиском». На ресурсе имеется большое количество чатов и списков фильмов, в том числе и список по годам. Списки по годам выпуска картин содержат все фильмы и сериалы, выпущенные в этот год, чьи профили существуют на сайте [7]. Пользуясь таким списком, можно собрать все оцененные фильмы за определенный год. Именно такой подход к сбору данных был выбран в рамках статьи: собрав данные о всех картинах и оценках пользователей за последние 6 лет (с 2014 по 2020 года), можно избежать совсем неактуальных данных – пользователей, не пользовавшихся сайтом многие годы. Естественно, будет необходима фильтрация, но количество избыточных данных будет меньше, чем если бы собирать данные о всех пользователях сайта вообще.

У «Кинопоиска» отсутствует в свободном доступе API, поэтому необходимо было построить парсер для сбора данных веб-страниц «Кинопоиска», используя CSS и XPath селекторы [9]. Все манипуляции для сбора данных с веб-страниц были выполнены с использованием пакета RSelenium на языке программирования R в среде разработки RStudio [10]. Данная библиотека представляет собой расширение для автоматизации работы веб-браузера и, в рамках текущей задачи, позволяет имитировать действия пользователя для навигации по сайту и наиболее гибкого сбора данных. В целом данный пакет позволяет «доставать» данные с веб-страниц, когда обычные методы бессильны – например, когда веб-приложения используют JavaScript и Ajax и контент их веб-страниц генерируется динамически и простой HTML-код страниц не содержит всей нужной информации [11]. Примером может служить так называемый «lazy loading», когда новые данные подгружаются лишь в тот момент, когда пользователь пролистал вниз страницы, при этом адрес страницы остается тем же. Следующая диаграмма визуализирует количество собранных фильмов за каждый год (рис. 2). Количество оцененных фильмов за каждый год закономерно уменьшается, поскольку чем новее фильм, тем меньшее количество людей успело его посмотреть. Общее количество собранных картин составило 5871, что на момент сбора являлось общим количеством оцененных фильмов за этот период в целом. Визуализация была выполнена на языке программирования R с использованием специального кастомного набора цветов «wesanderson» [8].

Далее из набора данных были удалены фильмы, общее количество оценок которых было менее 1000. Это было необходимо, чтобы уменьшить размерность финального датасета для кластеризации и исключить

«редкие» фильмы, которые не были удостоены внимания широкого круга публики. Таким образом, в наборе данных осталось 4193 фильма. Парсер собирает оценку и идентификатор пользователя для каждого идентификатора фильма, создавая таким образом итоговый набор данных, на котором будет осуществляться кластеризация. Однако на «Кинопоиске» существует небольшое ограничение – можно посмотреть лишь последнюю тысячу оценок к определенному фильму. Это ограничение означало два важных момента: не все пользователи, оценившие фильмы последних лет попадут в финальный набор данных; не все оценки пользователей к выбранным фильмам могут попасть в финальный набор данных. При наличии 5871 фильма и, соответственно, более миллиона уникальных пользователей, такой объем работы был бы колоссальным. Было решено использовать информацию лишь о фильмах 2019 и 2020 годов – это 1477 фильмов. После сбора оценок пользователей данным фильмам и отбора уникальных пользователей в датасете оказалось 225 тысяч пользователей. Чтобы сократить время сбора данных – процесс парсинга с помощью автоматизированного веб-драйвера занимает немало времени и напрямую зависит от скорости интернета и качества оборудования – были отфильтрованы те пользователи, количество оценок в датасете которых составило менее 10. Также это добавило элемент рандомизации в данные и помогло отсеять людей с маленьким количеством оценок и, соответственно, потенциально загрязняющих данные.

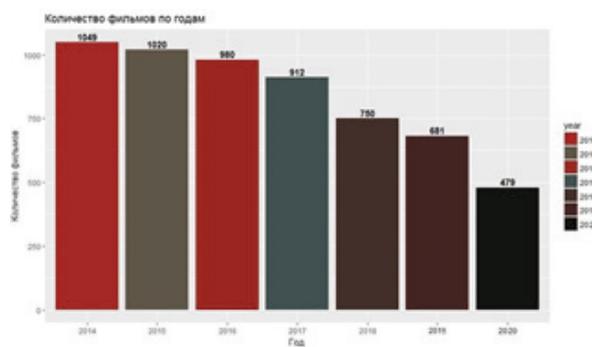


Рисунок 2 – Визуализация собранных данных

После всех описанных манипуляций с датасетом количество пользователей составило 11538 человек, а их оценок к фильмам 1477. Большие объемы информации не смогли бы быть обработаны на имеющемся компьютерном оборудовании и программном обеспечении. Также для дальнейшей интерпретации полученных результатов кластеризации был построен парсер для сбора дополнительной информации о фильмах. Согласно собранной статистике, количество пользователей с привязанной страницей «ВКонтакте» составляет примерно 15-20% от общего количество пользователей. Таким образом, для дальнейшего анализа сформирован набор данных, состоящий из 1477 кинокартин и оценок к ним 11538 пользователей «Кинопоиска». Для каждого пользователя также были найдены привязанные страницы «ВКонтакте», если

такие имелись, а для каждого фильма – некоторые описательные характеристики, призванные помочь интерпретировать полученные кластеры и классифицировать новые кинокартины в один из определенных кластеров.

Далее опишем процесс кластеризации пользователей. Кластеризация – метод машинного обучения без учителя и распространенный метод статистического анализа данных, используемый во многих областях. Его главной задачей является разделение множества объектов на группы (называемые «кластерами») таким образом, чтобы объекты внутри каждой группы были похожи между собой и отличались от объектов других групп. По сути, это отбор объектов на основе их сходства и различия друг с другом [12]. В отличие от классификации, для методов кластеризации не нужны знания о классах объектов – она работает с неразмеченными данными. Для кластеризации необходим лишь набор данных и их признаковое описание – некоторое количество характеристик, присущих каждому из объектов выборки. Признаки могут быть как числовыми, так и нечисловыми. Рассмотрим наиболее распространенные алгоритмы кластеризации:

1) **Алгоритм  $k$ -средних** – один из наиболее простых и распространенных алгоритмов кластеризации. Этот алгоритм разбивает множество объектов на заранее определенное число  $k$  кластеров, при этом каждый объект относится к тому кластеру, к центроиду которого он ближе всего [13]. В качестве меры близости чаще всего используется Евклидово расстояние

$$p(x, y) = \|x - y\| = \sqrt{\sum_{p=1}^n (x_p - y_p)^2} \quad (1)$$

где  $x, y \in R^n$ .

Метод  $k$ -средних разделяет  $m$  объектов на  $k$  подгрупп (кластеров) ( $k \leq m$ ) так, чтобы минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центроидов этих кластеров:

$$\min \left[ \sum_{i=1}^k \sum_{x^{(j)} \in S_i} \|x^{(j)} - \mu_i\|^2 \right] \quad (2)$$

где  $x^{(j)} \in R^n$ ,  $\mu_i \in R^n$ ,  $\mu_i$  – центроид для кластера  $S_i$ .

Основными минусами данного алгоритма является необходимость заранее знать оптимальное число кластеров и отсутствие гарантии нахождения оптимального разбиения, поскольку результаты сильно коррелируют с начальным выбором центроидов.

**Агломеративная иерархическая кластеризация** – различные вариации этого алгоритма отличаются правилами вычисления расстояния между кластерами. Например: алгоритм средней связи – на каждом шаге объединяет два ближайших кластера, оценивая арифметическое расстояние между всеми парами объектов; алгоритм одиночной связи («ближайшего соседа») – расстояние между кластерами рассчитывается как минимальное из расстояний между парами объектов из двух разных кластеров; алгоритм полной

связи («дальнего соседа») – вычисляет расстояние между наиболее удаленными объектами.

2) **Алгоритм  $k$ -медоидов** – также называемый *PAM* (*Partitioning Around Medoids* [14]), почти идентичен методу  $k$ -средних, однако вместо вычисления центроидов осуществляется поиск  $k$  наиболее представительных объектов выборки, а разброс внутри кластеров может измеряться манхэттенским расстоянием (расстоянием городских кварталов), а не евклидовым:

$$d_{1(p,q)} = \|p - q\|_1 = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \quad (3)$$

где  $p_i$  и  $q_i$  –  $i$ -я координата первого и второго объекта соответственно.

3) **Алгоритм *CLARA* (*clustering large applications*)** – является расширением методов *k-medoids* для работы с данными, содержащими большое количество объектов (более нескольких тысяч наблюдений), чтобы уменьшить время вычислений и проблему с объемом оперативной памяти. Это достигается с помощью метода выборки. Вместо того, чтобы находить медоиды для всего набора данных, *CLARA* берет небольшую выборку из датасета и применяет алгоритм *PAM* для генерации оптимального набора медоидов. Качество полученных медоидов измеряется по среднему различию между каждым объектом во всем датасете  $D$  и медоидом его кластера, определяемым как следующая функция стоимости:

$$\text{Cost}(M, D) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{dissimilarity}(O_i, \text{rep}(M, O_i))}{n} \quad (4)$$

где  $M$  – набор выбранных медоидов; ( $O_i, O_j$ ) – различие между объектами  $O_i$  и  $O_j$ ;  $\text{rep}(M, O_i)$  – медоид в  $M$ , ближайший к  $O_i$ .

После построения модели кластеризации необходимо оценить, насколько качественно она была построена и насколько в действительности значимы ее результаты. Валидация результатов кластеризации важна не только для избегания нахождения закономерностей в случайных данных, но также для сравнения нескольких алгоритмов кластеризации и выбора наилучшей из моделей. Как правило, метрики валидации кластеризации разделяются на 3 группы [15]:

- **внутренняя валидация** – использует только информацию о внутренней структуре кластеров для оценки качества кластеризации. Может быть использован как для выбора оптимального числа кластеров, так и для выбора самого эффективного алгоритма;

- **внешняя валидация** – результаты кластеризации сравниваются с некоторыми внешними известными результатами – заранее известными классами объектов, т.е. размеченными данными. Поскольку «истинный» класс объекта известен заранее, этот подход в основном используется для выбора оптимального алгоритма кластеризации для определенного набора данных;

- **относительная валидация** – оценивает структуру кластеризации, варьируя различные значе-

ния параметров для одного и того же алгоритма (например, изменяя количество кластеров  $k$ ). Обычно используется для определения оптимального количества кластеров.

Однако, прежде чем оценивать качество кластеризации, можно проверить, имеют ли данные тенденцию к группированию. Как уже было написано ранее, одной из главных проблем кластерного анализа является то, что алгоритмы кластеризации будут делить данные на группы вне зависимости от того, существуют ли в данных закономерности или нет. Таким образом, алгоритмы смогут кластеризовать даже случайно сгенерированный набор данных. Поэтому первым делом перед началом кластеризации рекомендуется вычислить общую предрасположенность данных к объединению в группы. Для этого используется статистика Хопкинса [16]. Для подсчета этой метрики создается  $N$  сгенерированных случайным образом набор данных на основе распределения с таким же стандартным отклонением, что и исходный набор данных. Для каждого наблюдения  $i$  рассчитывается его расстояние до  $k$  ближайших соседей:  $w_i$  между объектами оригинальной выборки и  $q_i$  между случайными наблюдениями и их ближайшими реальными соседями.

$$H_{ind} = \frac{\sum_n w_i}{\sum_n q_i + \sum_n w_i} \quad (5)$$

Если статистика Хопкинса превышает 0,5, это означает, что случайно сгенерированный набор данных подобен оригинальному, а объекты группируются случайно. Если данная метрика меньше 0,25, можно с 90% вероятностью утверждать, что в данных есть закономерности и тенденции к группированию.

Одним из распространенных методов внутренней валидации является силуэт [17]. Анализ силуэтов кластеров помогает измерить, насколько хорошо сгруппированы данные, и оценивает расстояние между кластерами. Для каждого наблюдения  $i$  ширина силуэта может быть подсчитана следующим способом: пусть,  $a$  – среднее расстояние от данного объекта до других объектов кластера, а  $b$  – среднее расстояние от данного объекта до объектов другого ближайшего кластера, тогда силуэт объекта может быть подсчитан по следующему выражению

$$s = \frac{b - a}{\max(a, b)} \quad (6)$$

Чем больше значение силуэта, тем лучше кластеризуется объект: наблюдения со значением силуэта, близким к 1, сгруппированы очень хорошо и почти однозначно принадлежат к определенному кластеру. Небольшой силуэт, близкий к 0, означает, что объект лежит на границе двух кластеров. Наблюдения с отрицательным силуэтом, вероятно, помещены в неправильный кластер. Качество кластеризации обычно оценивается средним значением силуэта по всей выборке. В случае большого количества признаков сокращение признакового пространства может пов-

лиять на качество разбиения данные на группы при помощи удаления каких-либо неинформативных или засоряющих данные признаков [18]. В отличие от классификации, многие традиционные методы отбора признаков (*feature selection*) не могут быть применены к неразмеченному набору данных. Самым распространенным способом сокращения пространства является метод главных компонент.

**Метод главных компонент** (*principal component analysis*, PCA) позволяет уменьшить размерность больших наборов данных путем преобразования большого набора переменных в меньший, потеряв при этом наименьшее количество информации [19]. Суть метода заключается в преобразовании некоторого набора возможно скоррелированных переменных в набор линейно нескоррелированных переменных главных компонент. В основе метода лежит переход к новой систем координат  $y_1, y_2, \dots, y_n$  от исходной системы координат  $x_1, x_2, \dots, x_n$  многомерного пространства признаков, которая является системой ортонормированных комбинаций. Линейные комбинации выбираются таким образом, чтобы первая главная компонента  $y_1(x)$  имела бы максимальную дисперсию, т.е. объясняла вариабильность данных настолько это возможно. Число главных компонент всегда меньше или равно количеству начальных переменных. На рисунке 3 представлен пример применения метода главных компонент к данным с более чем тремя различными признаками. Первая и вторая главные компоненты описывают переменные на 96%, третья – на 3%, остальные же переменные являются не столь информативными и описывают датасет вкупе лишь на 1%.

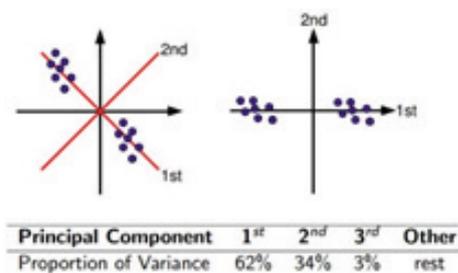


Рисунок 3 – Распределение информативности между главными компонентами

Также важным этапом PCA является нормализация. Метод является чувствительным к диапазону данных – так при наличии различия в диапазонах исходных переменных, переменные с большим диапазоном будут доминировать над переменными с небольшим диапазоном, что приведет к смещенному, неверному результату. Поэтому важно сперва преобразовать данные в сопоставимые масштабы.

Собранные ранее данные в контексте кластеризации представляют собой следующую структуру: объектами являются пользователи «Кинопоиска», оценившие фильмы. Признаками – просмотренные всеми пользователями фильмы, оцененные баллами от 0 до 10. Таким образом, для каждого из 11538 пользовате-

лей определяется класс на основе его оценок 1477 фильмам. Для определения оптимального количества кластеров применялся пакет для  $R$  под названием *NbClust* [20]. Данный пакет предоставляет реализацию 30 различных индексов для оценки качества результатов кластеризации. Любая комбинация индексов проверки и методов кластеризации может быть запрошена в одном вызове функции. Это позволяет одновременно оценивать несколько схем кластеризации, изменяя количество кластеров, чтобы помочь определить наиболее оптимальное число для загруженного датасета. В статье пакет *NbClust* использован только для предварительного определения тенденций кластеризации, а более детальный анализ результатов с более обширным кругом алгоритмов и методов кластеризации был проведен с помощью других пакетов и описан в исследовании далее.

Данные были кластеризованы при помощи *factoextra* с использованием реализации следующих алгоритмов:  $k$ -средних (*k-means*);  $k$ -медоидов (*pam*); агломеративная иерархическая кластеризация (*hierarchical clustering*); *CLARA*. В качестве меры качества была использована метрика силуэта. Валидация кластеризации необходима для сравнения различных моделей и выбора оптимальной из них. Еще одним фактором, влияющим на выбор итоговой модели кластеризации, станет количество объектов в кластерах, поскольку некоторые алгоритмы склонны определять большую группу объектов в один кластер и «откалывать» единичные экземпляры, создавая несколько других. Для этого введем ограничение: поскольку, как было отмечено ранее, прикрепленную ссылку «ВКонтакте» имеют лишь 15-20% всех пользователей «Кинопоиска». Однако кластеризацию алгоритмом *CLARA* нельзя назвать хорошей, несмотря на высокое значение силуэта – многие кластеры, определенные в данных моделях, имеют критически малое количество объектов, им принадлежащих – менее установленного порога в 500 объектов. Наиболее высокий силуэт показала модель *PAM* с четырьмя кластерами. В результате работы функции набор данных был разбит на главные компоненты,

упорядоченные в порядке их важности для датасета. В исследуемом наборе данных первые 838 компонент описывают набор на 90%. Было решено кластеризовать данные с использованием этих компонент и сравнить результаты с кластеризацией на оригинальном наборе. Индекс Хопкинса для данного датасета оказался значительно выше – 0,156613, а *NbClust* показал те же рекомендации, что и для оригинального набора данных. Некоторые методы кластеризации показали лучшие результаты на обработанном наборе данных – например, точность иерархической кластеризации значительно повысилась. Согласно двум определенным ранее критериям – силуэту и размеру кластеров – наилучшим разделением можно считать иерархическую кластеризацию на 3 кластера. Таким образом, точность кластеризации меняется лишь незначительно в зависимости от моделей, а в рамках одного алгоритма точность между кластеризацией на 3, 4 и 5 кластеров также остается практически неизменной. Кластеризация на 10 групп дает значительно худшие результаты. Выделенные группы объектов также близки по размеру – в каждом разделении имеется одна группа, значительно больше других. Основываясь на метрике силуэта и размерах кластеров, модель иерархической кластеризации, разделяющая обработанный при помощи метода главных компонент набор данных на 3 кластера, была выбрана для дальнейшего анализа.

Для того чтобы собрать данные о сообществах пользователей, применялся пакет *vkR* [21], предназначенный для удобного взаимодействия с *API* «ВКонтакте» для языка программирования  $R$ . Пакет предоставляет множество функций для загрузки данных «ВКонтакте», в том числе функцию для сбора сообществ пользователей. Самые распространенные сообщества для каждого кластера были визуализированы для упрощения интерпретации. Именно эти сообщества могут быть предложены алгоритмом рекламодателям для поиска потенциальной целевой аудитории той или иной картины.

На рисунке 4 представлены уникальные для первого кластера сообщества.

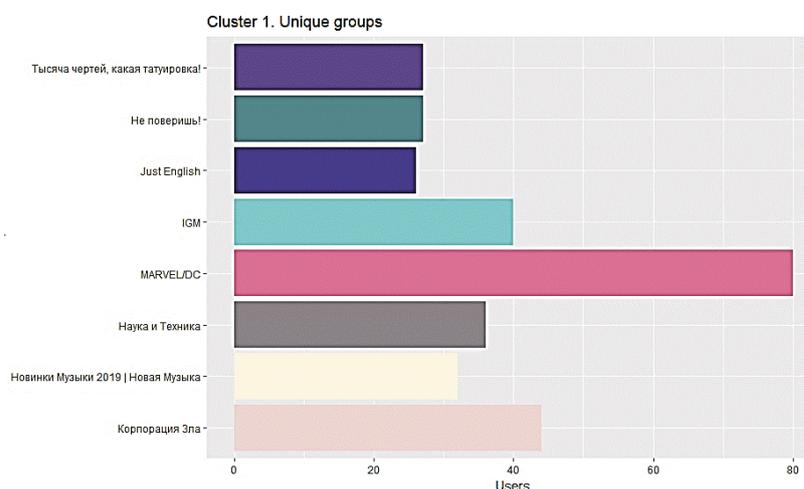


Рисунок 4 – Уникальные сообщества первого кластера

Выявили, что у каждого кластера существуют некоторые зависимости с группами «ВКонтакте», которые характеризуют как аудиторию сообщества, так и аудиторию кинокартин, оцененных представителями кластеров. Например, в первом кластере преобладают юмористические сообщества, сообщества по комиксам, а также группы, посвященные «новинкам». Рассмотрим несколько известных методов классификации, которые были рассмотрены и применены в настоящем исследовании. Метод опорных векторов – алгоритм обучения по прецедентам, используемый для бинарной классификации. Этот метод также называют классификатором с максимальным зазором. Суть метода заключается в том, что каждый объект обучающей выборки представляет собой точку в  $n$ -мерном пространстве, каждая из которых принадлежит одному из двух классов. Среди всех точек обучающей выборки алгоритм находит точки, лежащие на границе двух классов, и строит между ними разделяющую гиперплоскость размерности  $n-1$ . Эти точки называют опорными векторами [22]. Ансамблевые классификаторы – метод, в основе которого лежит идея обучения нескольких слабых классификаторов на одной и той же выборке и объединение их предсказаний для новых тестируемых объектов с целью достижения более высокой точности. В задаче классификации алгоритм считается слабым, если его ошибка меньше 50%, но больше 0%. Наиболее популярными ансамблевыми методами являются *bagging* и *boosting* [23]. Деревья решений – метод осуществляющий процесс деления исходных данных на группы до тех пор, пока не будут получены однородные множества. Совокупность таких правил позволяет предсказывать наиболее вероятный класс объекта, основываясь на характеристиках этого объекта. Метод деревьев решений считается одним из самых эффективных и применим для решения задач классификации, возникающих в самых разных областях.

Чтобы определить, какие именно картины и премьеры рекламировать в соответствующих кластерах сообществах, необходимо выделить характеристики фильмов, которые предпочитают пользователи тех или иных кластеров. Самые популярные фильмы и жанры рассчитывались по количеству просмотров среди ядра кластера, а наиболее высоко оцененные – по среднему рейтингу среди этих же пользователей. Можно отметить, что наиболее популярные кинокартины в первом кластере являются экранизациями комиксов или фильмами про супергероев в целом. Среди предпочтений во втором кластере можно найти кино, высоко оцененное критиками, номинированное на престижные премии, а также «нетипичные» картины. В третьем преобладают популярные фильмы. Поскольку один и тот же фильм может пригласиться представителям разных классов, принято решение провести бинарную классификацию для каждого класса отдельно – таким образом, кино может принадлежать или не принадлежать каждо-

му из классов. Одна и та же картина может принадлежать сразу трем классам. Чтобы построить модели классификации, необходимы размеченные данные. Чтобы определить принадлежность фильма для каждого кластера были отобраны фильмы, наиболее распространенные и наиболее высоко оцененные у ядра этих кластеров. Таким образом, в кластерах оказались фильмы, которые однозначно понравились доле пользователей кластера, и фильмы, которые не обязательно имеют высокую оценку среди представителей кластера, однако они все же посмотрели эти картины. Результаты представлены в таблице 2.

Таким образом, классификатором, показавшим наиболее высокое значение точности для большинства классов, оказался классификатор дерева решений. Средняя точность по трем классам составила более 80%, что можно назвать успешным результатом в рамках поставленной задачи. Наиболее важными признаками, согласно построенной модели, оказались режиссер, жанр и количество голосов. Наименее важным – страна производства.

Таблица 2 – Результаты классификации

Метод классификации	Класс		
	Cluster1	Cluster2	Cluster3
Bagging	0,7398	0,645	0,6829
Boosting	0,6585	0,4688	0,8401
Дерево решений	0,7696	0,8022	0,8347
SVM	0,6856	0,7398	0,5718

**Заключение.** В ходе исследования была рассмотрена актуальность таргетированного маркетинга, а также.

Было установлено, что большинство одной из наиболее популярных и удобных площадок для персонализированных рекламных кампаний является СС «ВКонтакте». Однако среди уже существующих инструментов для настройки такой рекламы и поиска пользователей, наиболее заинтересованных в предлагаемом продукте, отсутствуют инструменты, которые учитывали бы специфику области компании.

Для построения инструмента поиска целевой аудитории в сфере киноиндустрии был построен парсер данных с самого популярного российского портала о кино – «Кинопоиска».

Для определения схожих по интересам пользователей, данные были кластеризованы различными алгоритмами. Чтобы определить оптимальное количество кластеров, использован пакет *NbClust*, который показал, что набор данных в перспективе может хорошо делиться на 3, 4, 5 и 10 кластеров. Для сокращения признаков пространства был применен метод главных компонент – 1477 возможных признаков были преобразованы в 838 компонент, описывающих набор данных на 90%.

Модели кластеризации были построены как для оригинального, так и для преобразованного набора данных. Были использованы такие методы кластеризации, как  $k$ -средних,  $k$ -медоидов, иерархическая кластеризация и *CLARA*. Наилучшие результаты,

согласно определенным метрикам качества, показала модель, основанная на иерархической кластеризации, делящая набор на 3 разных кластера. Построена модель бинарной классификации при помощи алгоритмов *bagging*, *boosting*, дерева решений и метода опорных векторов. Модель, основанная на дереве решений, показала наилучший результат – более 80% в среднем по всем кластерам, что можно считать достаточно хорошим результатом.

Таким образом, совокупность построенных моделей и разработанных алгоритмов сбора и анализа данных позволяет осуществить автоматизированный поиск целевой аудитории в сфере киноискусства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kirkpatrick D. Study: 71% of consumers prefer personalized ads [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: <https://www.marketingdive.com/news/study-71-of-consumers-prefer-personalized-ads/418831/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
2. Tjepkema L. What Is Artificial Intelligence Marketing & Why Is It So Powerful? [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: <https://www.emarsys.com/en/resources/blog/artificial-intelligence-marketing-solutions/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
3. Burks R. Netflix Is More Popular Than Broadcast, Cable & More In TV Viewing [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://screenrant.com/netflix-popular-broadcast-cable-tv-viewing/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
4. Netflix's Use Of Big Data: Lessons For Brand Marketers [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа: <https://adexchanger.com/data-driven-thinking/netflixs-use-big-data-lessons-brand-marketers/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
5. Harrison J. R Selenium: R Bindings for 'Selenium WebDriver'. R package version 1.7.7. 2020 [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: <https://CRAN.R-project.org/package=RSelenium> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
6. Развивайте свой бизнес ВКонтакте [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: <https://vk.com/biz> свободный. Яз. русский. (дата обращения: 14.05.2020).
7. Все фильмы, 2018 год [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: [https://www.kinopoisk.ru/lists/m\\_act\[-year\]/2018/m\\_act\[all\]/ok/](https://www.kinopoisk.ru/lists/m_act[-year]/2018/m_act[all]/ok/) свободный. Яз. русский. (дата обращения: 14.05.2020).
8. Ram K., Wickham H. «wesanderson: A Wes Anderson Palette Generator. R package version 0.3.6. n'» [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/wesanderson/wesanderson.pdf> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
9. Therneau T., Atkinson B. rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. R package version 4.1-15. [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/rpart/index.html> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
10. Логинов А., Позина М., Манахова А., Дугинова А. Социальные сети: как заманить зрителя в кино [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: [http://kinometro.ru/analytics/show/name/social\\_media\\_distribution\\_9213](http://kinometro.ru/analytics/show/name/social_media_distribution_9213) свободный. Яз. русский. (дата обращения: 14.05.2020).
11. Wu J. Advances in K-means Clustering A Data Mining Thinking. Springer, New York, 2012. 180 p.
12. Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review // ACM Computing Surveys. – 1999. – Vol. 31, no. 3. – PP. 264-323.
13. Sahin K. Web Scraping: Handling AJAX website [Электронный ресурс]. 2018. // URL: <https://ksah.in/web-scraping-handling-ajax-website/> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
14. Kaufman L., Rousseeuw P. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. New York: Wiley. 1990.
15. Шитиков В. К., Мастицкий С. Э. Классификация, регрессия, алгоритмы Data Mining с использованием R [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа: <https://github.com/ranalytics/data-mining> свободный. Яз. русский. (дата обращения: 14.05.2020).
16. Banerjee, A. Validating clusters using the Hopkins statistic. IEEE International Conference on Fuzzy Systems: 149–153. 2004. doi: 10.1109/FUZZY.2004.1375706.
17. Rousseeuw P. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis // Journal of Computational and Applied Mathematics, 20, November 1987, pp. 53-65.
18. Alelyani S., Tang J., Liu H. Feature Selection for Clustering: A Review. Data Clustering: Algorithms and Applications 29, pp. 110-121, 2013.
19. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis and Factor Analysis. In: Principal Component Analysis. Springer Series in Statistics. Springer, 1986, New York, NY.
20. Niknafs A., Charrad M., Ghazzali N., Boiteau V. NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set // Journal of statistical software, October 2014. DOI: 10.18637/jss.v061.i06.
21. Sorokin D. vkR: Access to VK API via R. R package, version 0.1. [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: <https://github.com/Dementiy/vkR> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.05.2020).
22. Gunn S. R. Support Vector Machines for Classification and Regression. Technical Report, Image Speech and Intelligent Systems Research Group, University of Southampton, 1997.
23. В I полугодии 2018 года выручка российских онлайн-видеосервисов выросла на 32% [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://telesputnik.ru/materials/video-v-internete/news/v-i-polugodii-2018-goda-vyruchka-rossiyskikh-online-videoservisov-vyrosla-na-32/> свободный. Яз. русский. (дата обращения: 14.05.2020).

*Статья публикуется при поддержке гранта РФФИ «Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований» (Грант № 19-07-00516 А).*

*Статья поступила в редакцию 06.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004.7

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0028

## МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ СЕТИ: МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ СЕТЕВЫХ АТАК

© 2020

**Данилин Герман Владиславович**, студент 5-го курса  
кафедры «Комплексное Обеспечение Информационной Безопасности»

**Соколов Сергей Сергеевич**, заведующий кафедрой  
«Комплексное Обеспечение Информационной Безопасности»

**Нырков Анатолий Павлович**, профессор кафедры  
«Комплексное Обеспечение Информационной Безопасности»

**Кныш Татьяна Петровна**, доцент кафедры «Прикладная математика»

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова  
(198035, Россия, Санкт-Петербург, улица Двинская, дом 5/7,*

*emails: t.101@mail.ru, sokolovss@gumrf.ru, nyrkovap@gumrf.ru, knyshhp@gumrf.ru)*

**Аннотация.** Мультисервисная сеть (МСС) – сеть нового поколения (NGN), представляющая собой основанную на IP-сети интегральную телекоммуникационную инфраструктуру, обладающую необходимыми для передачи данных, мультимедиа и телефонии ресурсами, которая была создана с целью реализации принципа конвергенции услуг электросвязи. Переход к использованию мультисервисных сетей для крупных организаций и многих операторов связи является очень привлекательным решением. Однако наряду с неоспоримыми преимуществами, обусловленными наличием большого числа функциональных возможностей, мультисервисные сети, по сравнению с сетями других типов, обладают рядом отличительных особенностей, отрицательно сказывающихся на сетевой безопасности. Целью исследования, проводимого в рамках данной работы, является повышение защищенности данных при их передаче в мультисервисных сетях в условиях сетевых атак. В работе рассматриваются факторы, повышающие уязвимость мультисервисных сетей к воздействию различных сетевых атак, производится изучение возможных видов атак, ранжированных по степени их воздействия на конфиденциальность, целостность и доступность информации. В результате выявляются общие этапы осуществления сетевых атак различного типа и предлагаются меры повышения устойчивости мультисервисной сети к рассмотренным в работе видам сетевых атак.

**Ключевые слова:** мультисервисная сеть, безопасность сети, сетевые атаки, меры по защите

## MULTISERVICE NETWORKS: METHODS OF INCREASING DATA SECURITY IN THE CONDITIONS OF NETWORK ATTACKS

© 2020

**Danilin German Vladislavovich**, 5th year student of the Chair of «Comprehensive Information Security»

**Sokolov Sergey Sergeevich**, head of the Chair of «Comprehensive Information Security»

**Nyrkov Anatoliy Pavlovich**, professor of the Chair of «Comprehensive Information Security»

**Knysh Tatyana Petrovna**, lecturer of the Chair of «Applied mathematic»

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*

*(198035, Russia, St. Petersburg, Dvinskaya street, 5/7,*

*emails: t.101@mail.ru, sokolovss@gumrf.ru, nyrkovap@gumrf.ru, knyshhp@gumrf.ru)*

**Abstract.** Multiservice network (MSS) – a new generation network (NGN), which is an integrated telecommunication infrastructure based on an IP network that has the resources necessary for data transmission, multimedia and telephony, which was created to implement the principle of convergence of telecommunication services. The transition to the use of multiservice networks for large organizations and many telecom operators is a very attractive solution. However, along with the undeniable advantages due to the presence of a large number of functional capabilities, multiservice networks, in comparison with other types of networks, have a number of distinctive features that adversely affect network security. The aim of the study, carried out as part of this work, is to increase the security of data during transmission in multiservice networks in the conditions of network attacks. The paper discusses the factors that increase the vulnerability of multiservice networks to the effects of various network attacks, examines the possible types of attacks, ranked by the degree of their impact on the confidentiality, integrity and availability of information. As a result, the general stages of network attacks of various types are identified and measures are proposed to increase the stability of the multiservice network to the types of network attacks considered in this work.

**Keywords:** multiservice network, network security, network attacks, protection measures

**Введение.** Мультисервисная сеть (МСС) – сеть нового поколения (NGN), представляющая собой основанную на IP-сети интегральную телекоммуникационную инфраструктуру, обладающую необходи-

мыми для передачи данных, мультимедиа и телефонии ресурсами, которая была создана с целью реализации принципа конвергенции услуг электросвязи.

Мультисервисные сети выделяются среди сетей

других типов наличием ряда особенностей [1], из которых две непосредственно влияют на безопасность передаваемой информации.

Первая особенность заключается в том, что МСС имеют потоковый характер передачи информации. Если порции информации от различных источников не будут следовать по каналу передачи в строгой очередности и через фиксированные промежутки времени, то будут возникать задержки при передаче. И если какой-либо компонент сети станет пытаться передать свои данные вне очереди, то это может и вовсе спровоцировать отказ в доступе остальных компонентов сети.

Вторая особенность МСС заключается в том, что передаваемый по ней множеством сетевых служб трафик не является однородным по составу. В совокупности с первой особенностью это делает МСС уязвимой к множеству атак разных типов [2].

**Цель** проводимого исследования – повышение защищенности данных при их передаче в мульти-сервисных сетях в условиях сетевых атак.

**Материалы и результаты исследования.** Для удобства, атаки следует разделить, и рассмотреть их по группам, в зависимости от той составляющей безопасности информации, на которую они оказывают воздействие.

Согласно определению, безопасность информации – это состояние защищенности информации, при котором обеспечены такие её свойства, как конфиденциальность, целостность и доступность. В таблице 1 приведено соответствие атак свойствам, на которые они воздействуют.

Таблица 1 – Соответствие атак свойствам

Атака	Конфиденциальность	Целостность	Доступность
Сниффинг пакетов	+	+	±
Атака на сервер BRAS IPv4	-	-	+
Спецификация процесса локального автоматизированного присвоения IPv6	-	-	+
IP-спуфинг	+	+	-
Атака на протоколы TCP, UDP, ESP, GRE и SCTP	-	-	+
DoS и DDoS	-	-	+
Подмена доверенного объекта или субъекта	+	+	-

Согласно таблице, атаки могут быть разделены на 2 большие группы: атаки, влияющие на конфиденциальность и целостность, и атаки, влияющие на доступность информации.

**Атаки, влияющие на конфиденциальность и целостность.** Одним из широко распространенных видов атаки, который влияет на конфиденциальность и целостность информации, является сниффинг па-

кетов. Суть атаки данного вида заключается в перехвате пакетов, передаваемых через определенный сегмент сети. Перехват осуществляется при помощи сниффера пакетов. Поскольку ряд сетевых приложений производит передачу данных в текстовом формате (*Telnet, FTP, SMTP, POP3* и др.), то сниффер является удобным инструментом для получения такой информации, как имена пользователей и их пароли, что приводит к нарушению конфиденциальности информации. При этом важно отметить тот факт, что снифферы, в настоящий момент, работают в сетях на законном основании и применяются как средство поиска различных неисправностей и анализа сетевого трафика.

Существует несколько способов сниффинга сетевых пакетов. Первый способ основан на применении активных снифферов и используется для перехвата сетевого трафика, проходящего через сервер, подключенный через коммутатор. Активные снифферы способны работать в двух режимах: в первом случае осуществляется атака «человек посередине» и *ARP*-взлом коммутатора, во втором – переполнение *CAM* памяти коммутатора, что свидетельствует о том, что применение коммутируемой инфраструктуры для предотвращения сниффинга сетевых пакетов является недостаточной мерой.

Второй способ – атака на *STP*. При осуществлении такой атаки злоумышленник может получить доступ ко всему трафику *VLAN* при помощи инструмента генерации *STP*-пакетов, или посредством подключения устройства с низким приоритетом. Суть в том, что злоумышленник может подключиться к двум портам разных коммутаторов, получить доступ к трафику *VLAN*, выдавая себя за корень дерева *STP*, и организовать *DoS*-атаку на протокол посредством частой смены приоритетов.

Третий способ – атака на *HSRP*. Данный протокол используется тогда, когда в сети реализована избыточность маршрутизаторов, и последние доступны под одним и тем же виртуальным *IP* и *MAC*. Маршрутизаторы определяют между собой активный по приоритету, и если у злоумышленника есть возможность рассылать *HSRP*-пакеты с наивысшим приоритетом, то он может как перевести весь трафик на себя, так и сделать оба маршрутизатора неактивными, что приведет к нарушению доступности участка сети.

Четвертый способ, который завершит этот небольшой список, заключается в атаке на протоколы *DTP VTP*. Первый используется в сетях для автоматизации процесса конфигурирования транковых портов. При его применении администратору нет необходимости вручную переводить порты в режим магистрали – он может доверить эту работу коммутатору, который и будет самостоятельно определять подключенные устройства и производить необходимые действия. Второй протокол позволяет коммутаторам обмениваться информацией о конфигурации сети. Опасность заключается в том, что по умолчанию протокол *DTP* находится в режиме

«активирован», и если принудительно не заблокировать режим магистральной на портах доступа, то злоумышленник, подключившись к любому такому порту, завладеет транковым портом и сможет читать широкоэвещательный и многоадресный трафик всех виртуальных локальных сетей, а также изменять их настройки.

Кроме sniffинга пакетов к списку атак, не влияющих напрямую на доступность информации, но воздействующих на конфиденциальность и целостность можно отнести такие атаки, как подмена доверенного объекта или субъекта [3] и *IP*-спуфинг [4].

Подмена доверенного объекта или субъекта может быть осуществлена двумя способами. Первый – с установленным виртуальным каналом. Атака основывается на присвоении себе злоумышленником прав субъекта взаимодействия, подключенного к системе легально. В этом случае злоумышленник будет вести взаимодействие с системой от имени доверенного субъекта. Для реализации такого рода атаки необходимо преодолеть систему идентификации и аутентификации сообщений, которая, в принципе, может использовать контрольную сумму, вычисляемую с помощью открытого ключа, динамически выработанного при установлении канала, случайные многобитные счетчики пакетов и сетевые адреса станции.

Второй вариант осуществления атаки наиболее характерный для МСС, поскольку в них для передачи служебных сообщений часто используется передача одиночных не требующих подтверждения сообщений. Иными словами, при таком механизме не нужно создавать виртуальное соединение. Служебные сообщения просто передаются от имени сетевых управляющих устройств: идентификацию пакетов без установленного виртуального канала можно осуществить по одному только сетевому адресу отправителя, который легко подделать.

*IP*-спуфинг – еще один распространенный вид атаки, результатом которого является нарушение конфиденциальности и целостности. Для реализации данного вида атаки также существует два варианта. В первом случае злоумышленник применяет *IP*-адреса из диапазона санкционированных. Во-втором случае может быть использован авторизованный внешний адрес, которому разрешен доступ к каким-либо ресурсам сети. Задача злоумышленника – изменение всех таблиц маршрутизации. Если злоумышленнику удастся решить эту задачу, то он получит доступ ко всем пакетам и будет отвечать на них уже как санкционированный пользователь. Атака данного вида зачастую являются плацдармом для проведения иных видов атак, в том числе *DoS*, о которых речь пойдет далее.

**Атаки, влияющие на доступность.** Для МСС являются актуальными все угрозы, характерные для любых *IP* сетей [5]. Поэтому первыми среди атак, влияющих главным образом на доступность информации, одними из первых могут быть названы

атаки на протокол *IP*, который всем давно известен и достаточно подробно описан, и, соответственно, не требует для проведения атаки на МСС дополнительной инсайдерской информации, какая была бы необходима для проведения атаки на классическую телекоммуникационную сеть.

Протокол *IP* сегодня используется в версиях 4 и 6. Четвертая версия существует относительно давно, но за время своего существования так и не смогла избавиться от всех ошибок и недочетов, а потому злоумышленники могут вызвать отказ в обслуживании пользователей, осуществив перегрузку сервера *BRAS*, отправив на него большое количество служебных сетевых запросов, генерируемых самописной программой.

Протокол 6-й версии создавался, что называется, «с нуля», и, в связи с этим, должен был избавиться от ряда недостатков, присущих его предшественнику. Однако при этом необходимо учитывать, что в новой версии могли появиться возможности, в том числе и не декларированные, которые могут быть успешно использованы злоумышленниками для реализации атак. Примером такой возможности является спецификация процесса локального автоматизированного присвоения *IP*-адреса версии 6 путём его генерации по специальному алгоритму на основе части имеющегося мас-адреса сетевой платы и выполнения опроса доступных устройств в соответствующем широкоэвещательном домене на предмет отсутствия у них данного сгенерированного *IP*-адреса версии 6. Злоумышленнику достаточно создать программу, которая в ответ на подобные запросы будет отвечать, что поступивший к ней *IP*-адрес версии 6 уже используется, и тогда система никогда не сможет получить доступ к *IP*-сети версии 6, поскольку просто не сможет сгенерировать и присвоить себе *IP*-адрес версии 6. При этом, механизм *dual stack*, который, как предполагается, должен обеспечить отказоустойчивое соединение за счет одновременного использования двух версий протокола, не решает данную проблему полностью, а только частично снижает описанные выше угрозы.

*TCP*, *UDP*, *ESP*, *GRE* и *SCTP* – широко распространенные протоколы, функция которых заключается в переносе блоков при сохранении их целостности, и которая может быть реализована как с гарантией подтверждения доставки, так и без нее. Возможность установки злоумышленником не соответствующих требуемым значениям размеров блоков для различных сегментов и уровней представляет собой реальную угрозу безопасности МСС. Результатом атаки в таком случае может стать повышенная нагрузка на оборудование, снижение скорости передачи данных или вовсе отказ в обслуживании (*DoS* – *Denial of Service*). *DoS* атаки являются довольно широко распространенным типом атак. Их суть состоит в занятии ресурсов сети или поглощении ее пропускной способности, и цель заключается не в том, чтобы получить доступ к сети, или передаваемой в ней

информации, а в том, чтобы сделать эту информацию или сеть недоступной для других пользователей. С классификацией атак данного вида и способов защиты от них можно ознакомиться в работе [1].

Отдельное внимание стоит уделить частным случаям атак: атакам на STP и HSRP – частным случаям атаки типа «Сниффинг пакетов», который был описан в предыдущем разделе, а так же атаке типа «HTTP-флуд», частному случаю DDoS-атаки, которая может быть успешно реализована в МСС. Дело в том, что этот тип атаки направлен на web-серверы, которые могут принадлежать в том числе и МСС, и оказалось, что при успешной реализации атаки такого типа относительно одной из услуг, предоставляемых сетью, невозможно предугадать, как станут функционировать осталь-

ные услуги. Отсюда следует, что для повышения общей защищенности сети требуется повысить стойкость web-серверов атакам типа «HTTP-флуд».

Многие из атак, рассмотренных в рамках данной работы, тесно связаны между собой или могут иметь сходные этапы при осуществлении.

Кроме того, некоторые из атак воздействуют сразу по нескольким направлениям, из чего следует, что если выявить эти сходные этапы и предпринять соответствующие меры противодействия, то можно повысить устойчивость МСС к большому количеству возможных атак, реализовав меньшее количество мер противодействия.

В таблицах 2-5 приведены этапы осуществления атак каждого вида.

Таблица 2 – Сниффинг пакетов с активными снифферами и атака на STP

Этап атаки:	Атака Сниффинг пакетов:		
	С активными снифферами	С активными снифферами (альт.)	Атака на STP
1	Сниффер отслеживает адреса agr-запросов	Сеть заполняется ложными MAC-адресами	Злоумышленник подключает устройство с низким приоритетом или использует средства генерации STP-пакетов для получения доступа к трафику атакуемой сети
2	Сниффер переходит в режим agr-forwarding на машине, на которой он запущен, и дает на agr-запрос ответ, что mac-адрес псевдофорвардера соответствует всем ip-адресам в атакуемой сети	Происходит переполнение CAM-памяти коммутатора и его переход в режим «концентратора»	Злоумышленник с большой частотой изменяет приоритет устройства, тем самым вынуждая протокол постоянно производить перерасчет, и реализует DoS-атаку
3		Злоумышленник прослушивает и анализирует весь сетевой трафик	

Таблица 3 – Сниффинг с атакой на HSRP, DTP и VTP

Этап атаки:	Атака Сниффинг пакетов:		
	Атака на HSRP	Атака на HSRP (альт.)	Атака на DTP и VTP
1	Злоумышленник производит рассылку пакетов HSRP с наивысшим приоритетом	Злоумышленник производит рассылку пакетов HSRP с наивысшим приоритетом	Злоумышленник подключается к порту доступа в сети, где DTP по-умолчанию активирован
2	Злоумышленник переводит весь сетевой трафик на себя и осуществляет его анализ	Злоумышленник организует DoS-атаку переключением всех маршрутизаторов в неактивное состояние	Злоумышленник производит чтение широковещательного и многоадресного трафика всех VLAN атакуемой сети, либо изменяет их настройки посредством вмешательства в VTP

Таблица 4 – Атака на сервер BRAS IPv4 и IP-спуфинг

Этап атаки:	Атака:			
	Атака на сервер BRAS IPv4	Спецификация процесса локального автоматизированного присвоения адреса IPv6	IP-спуфинг	IP-спуфинг(альт.)
1	Злоумышленник генерирует множество служебных сетевых запросов и направляет их на сервер BRAS	Система на основе части имеющегося MAC-адреса сетевой платы при помощи специального алгоритма генерирует адрес IPv6	Злоумышленник использует IP-адрес из диапазона санкционированных IP-адресов	Злоумышленник использует внешний авторизованный IP-адрес, имеющий доступ к ресурсам атакуемой сети
2	Сервер получает сгенерированные запросы и перегружается	Система выполняет опрос доступных устройств в соответствующем широковещательном домене на предмет наличия у них сгенерированного адреса IPv6	Злоумышленник действует в сети от лица санкционированного пользователя	Злоумышленник действует в сети от лица санкционированного пользователя
3	Наступает отказ в обслуживании	Внедренная злоумышленником программа в ответ на запрос ответит, что такой адрес IPv6 уже используется		
4		Система не сможет сгенерировать и присвоить себе адрес IPv6 и не получит доступ к сети IPv6		

Таблица 5 – Атака на TCP, UDP, ESP, GRE и SCTP и DoS-атаки

Этап атаки:	Атака:			
	Атака на протоколы TCP, UDP, ESP, GRE и SCTP	DoS и DDoS (как атака на STP)	DoS и DDoS (как атака на HSRP)	DoS и DDoS (как атака на сервер BRAS IPv4)
1	Злоумышленник/неграмотный сисадмин устанавливает значения размеров блоков не соответствующие требованиям уровней и сегментов MCC.	Злоумышленник подключает устройство с низким приоритетом или использует средства генерации STP-пакетов для получения доступа к трафику атакуемой сети	Злоумышленник производит рассылку пакетов HSRP с наивысшим приоритетом	Злоумышленник генерирует множество служебных сетевых запросов и направляет их на сервер BRAS
2	Затрудняется работа протоколов TCP, UDP, ESP, GRE и SCTP, ответственных за доставку блоков.	Злоумышленник с большой частотой изменяет приоритет устройства, тем самым вынуждая протокол постоянно производить перерасчет, и реализует DoS-атаку	Злоумышленник организует DoS-атаку переключением всех маршрутизаторов в неактивное состояние	Сервер получает сгенерированные запросы и перегружается
3	Снижается скорость передачи данных, возрастает нагрузка на оборудование, либо наступает отказ в обслуживании			Наступает отказ в обслуживании
4	Система на основе части имеющегося MAC-адреса сетевой платы при помощи специального алгоритма генерирует адрес IPv6	Злоумышленник устанавливает на различных машинах с высокоскоростным подключением к сети бот-программы	Злоумышленник делает рассылку эхо-запросов на TCP-сервера, заменяя адрес источника адресом цели	Злоумышленник рассылает служебные сообщения от имени сетевых управляющих устройств
5	Система выполняет опрос доступных устройств в соответствующем широковещательном домене на предмет наличия у них сгенерированного адреса IPv6	По команде иницилирующего компьютера боты осуществляют посылку пакетов на заданный злоумышленником адрес в непрерывном режиме	TCP-сервера посылают ответы на указанный адрес	злоумышленник ведет взаимодействие с системой от имени доверенного субъекта
6	Внедренная злоумышленником программа в ответ на запрос ответит, что такой адрес IPv6 уже используется	Доступные сетевые ресурсы исчерпываются и для обычных пользователей наступает отказ в обслуживании	Доступные сетевые ресурсы исчерпываются и для обычных пользователей наступает отказ в обслуживании	
7	Система не сможет сгенерировать и присвоить себе адрес IPv6 и не получит доступ к сети IPv6			

**Заключение.** При анализе вышеизложенных материалов становится очевидным, что часто в основе DDoS-атаки лежит тот же сценарий, по которому реализуются атаки на STP, HSRP и IP, а в основе атаки подмены доверенного объекта или субъекта могут лежать действия, реализуемые при IP-спуфинге.

Для повышения устойчивости MCC к рассмотренным выше видам атак, могут быть применены:

- Технологии двухфакторной аутентификации [6]. Эффективный способ снижения эффективности спуфинга паролей, передаваемых внутри MCC. При использовании технологий двухфакторной аутентификации, подобных OTP (One-Time Passwords), аутентификация производится одновременно по двум составляющим: по тому, что вы знаете, и по тому, что у вас имеется. Например, это может быть пароль и смарт-карта.

- Коммутируемая инфраструктура. Этот способ позволяет затруднить осуществление спуфинга внутри MCC. Из-за микросегментации, осуществляемой коммутатором, злоумышленникам будет доступен только трафик, приходящий на тот порт, к которому они подключены [7].

- Антиснифферы. Поскольку применение коммутируемой инфраструктуры для предотвращения спуфинга сетевых пакетов является недостаточной

мерой, то для обеспечения необходимого уровня конфиденциальности в MCC есть смысл применять программные или аппаратные антиснифферы, которые способны помочь обнаружить факт проведения спуфинга, или применять методы криптографической защиты, которые делают спуфинг сетевых пакетов бесполезным.

- Блокировка режима магистрали на портах доступа [8].

- Использование криптографических преобразований. Этот способ делает работу спуфферов бесполезной, а потому является наиболее эффективным.

- Коммутаторы с опциями «защита порта» и «защита корня». Их использование позволит защитить MCC от атак на STP. Первая опция осуществляет фильтрацию BPDU, вторая – осуществляет запрет нахождения за данным портом корня [9].

- Использование протокола SCTP. Этот протокол уже успел себя зарекомендовать работой в динамических распределенных одноранговых ячеистых сетях, поэтому имеет смысл использовать его для повышения защищенности передаваемых блоков данных в MCC. Недостатком его применения является то, что при использовании данного протокола, передаются довольно большие объемы служебной информации, необходимой для автоматического кон-

фигурирования сети [10].

- Заранее определенные статические ключи. Могут использоваться для идентификации пакетов и снижения риска подмены доверенного субъекта. Это неудобно, поскольку возникает необходимость применения сложной системы управления ключами, но с другой стороны, если не использовать данный метод защиты, то идентификацию пакетов без установленного виртуального канала можно будет осуществить с использованием легко подделываемого сетевого адреса отправителя.

- Контроль доступа. Любой трафик, который поступает в МСС извне, и имеющий исходный адрес расположенного внутри сети источника, должен быть отсечен. Таким образом, в случае отсутствия санкционированных адресов внешней сети, будет снижен риск IP-спуфинга.

- Использование функций анти-спуфинга на маршрутизаторах и межсетевых экранах. При использовании данной функции осуществляется фильтрация RFC 2827, что позволяет снизить риск проведения DoS-атак [11].

- Использование функций анти-DoS на маршрутизаторах и межсетевых экранах. Эти функции ограничивают число полуоткрытых каналов и могут помочь снизить эффективность атак.

- Ограничение объема трафика. *Traffic rate limiting* применяется для того, чтобы остановить трафик, предназначенный для переполнения МСС, на уровне провайдера, иначе, на входе в сеть сделать это становится невозможным, поскольку полоса пропускания будет полностью занята.

- Программно-аппаратные системы распознавания атак (IDS).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. М.В. Бурса, Г.А. Остапенко Мультисервисные сети как объект защиты информации в условиях DDOS-атак [Электронный ресурс]// elibrary.ru: научная электронная библиотека URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23575067> (дата обращения 9.10.2019).

2. Г. В. Данилин Мультисервисные сети как объект атаки. Перспективы развития мультисервисных сетей в России [Текст]// Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России: материалы X межвузовской научно-практической конференции аспирантов, студентов и курсантов. 22 мая 2019 года. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2019. — 777 с. (дата обращения 10.10.2019).

3. Исследование механизмов реализации сетевых атак в мультисервисных сетях [Электронный ресурс]// DSrbase: Институциональное хранилище НТУ Днепро Политехник URL: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/1839/multi-serv%20network.pdf;jsessionid=45D0BABC76747164FA3B7E-009202F11?sequence=1> (дата обращения 9.10.2019).

4. А.Е. Боршевников Сетевые атаки. Виды. Способы борьбы [Текст]// Современные тенденции технических наук: материалы I Международной научной конференции. Октябрь 2011 года. — Уфа : Лето, 2011. — С. 8-13 (дата обращения: 12.10.2019).

5. В.Г. Грибунин Безопасность сетей NGN [Электронный ресурс]//Information Security: инф. портал URL: [http://lib.itsec.ru/articles2/networks/bezopasnost\\_setei\\_ngn](http://lib.itsec.ru/articles2/networks/bezopasnost_setei_ngn) (дата обращения

9.10.2019).

6. В.В. Кокшенев Информационная безопасность корпоративных мультисервисных сетей [Электронный ресурс]// csd.tsu.ru: инф. портал URL: [http://www.csd.tsu.ru/sites/default/files/%D0%A5%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B%D0%B8%D1%89%D0%B5/people/%D0%B2%D1%8B%D0%B%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8/2006/diplom\\_kokneshev.pdf](http://www.csd.tsu.ru/sites/default/files/%D0%A5%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B%D0%B8%D1%89%D0%B5/people/%D0%B2%D1%8B%D0%B%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8/2006/diplom_kokneshev.pdf) (дата обращения 8.10.2019).

7. Boriev Z.V. Review of modern biometric user authentication and their development prospects / Boriev, Z.V., Sokolov, S.S., Nyrkov, A.P.// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91(1),012063.

8. Sokolov S.S. The Safety Assessment of Critical Infrastructure Control System / Sokolov, S.S., Glebov, N.B., Antonova, E.N., Nyrkov, A.P.// Proceedings of the 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2018 8524948, С. 154-157.

9. Sokolov S. Database problems of maritime transport industry on high load platform / Sokolov, S., Glebov, N., Novoselov, R., Chernyi, S.// MATEC Web of Conferences 239,03004.

10. Sokolov S.S. The automating process of information security management/ Sokolov, S.S., Alimov, O.M., Golubeva, M.G., Burlov, V.G., Vikhrov, N.M.// Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018 2018-January, С. 124-127.

11. Boriev Z.V. Mathematical and information maintenance of biometric systems / Boriev, Z., Sokolov, S., Nyrkov, A., Nekrasova, A.// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 124(1),012046.

*Статья поступила в редакцию 10.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 004.6

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0029

## МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ БИНАРНЫХ ВЫБОРОК ПРИ АНАЛИЗЕ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

©2020

**Гегерь Эмилия Владимировна**, доктор биологических наук,  
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и химия»

*Брянский государственный технический университет*  
(241035, Россия, г. Брянск, Бульвар 50-летия Октября, д. 7, e-mail: emiliya\_geger@mail.ru)

**Козлова Ирина Романовна**, аспирант,

*Брянский государственный технический университет*  
(241035, Россия, г. Брянск, Бульвар 50-летия Октября, д. 7, e-mail: kozlowa.iri2014@yandex.ru)

**Юркова Ольга Николаевна**, кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Информационные технологии»

*Брянский государственный инженерно-технологический университет*  
(241037, Россия, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, 3, e-mail: yurkova\_olga@mail.ru)

**Евельсон Лев Игоревич**, кандидат технических наук,

доцент, директор по научным исследованиям и инновациям  
*Научно-инновационный центр информационных и дистанционных технологий*  
(241007, Россия, г. Брянск, Россия, ул. Бежицкая, 1/4, e-mail: levelmoscow@mail.ru)

**Аннотация.** В статье описывается исследование зависимости заболеваемости, а также показателей лабораторных исследований от наличия вредных производственных факторов шума и вибрации. Развивается и используется подход, основанный на сравнении бинарных выборок. Анализ медицинских данных, накопленных в медицинской информационной системе транзакционного типа, дает возможность выявлять заболевания, характерные для определенных комплексов вредных факторов, связанных с производственной деятельностью, что позволит усовершенствовать диагностику и лечение, используя цифровые технологии, и поможет принятию правильных управленческих решений. Результаты выполнявшихся общих анализов крови и мочи приводились к бинарному виду путем их сопоставления с известным интервалом статистической нормы, а выставившиеся диагнозы рассматривались как изначально бинарные величины. Полученные в результате бинаризации выборки для двух групп, первая группа включает в себя лица, в производственной деятельности которых присутствуют вредные факторы, а вторая – тех, у которых эти факторы отсутствуют, сравнивались между собой. Разработана и применена методика корректировки выборок, позволяющая привести выборки, исходно неоднородные по признакам пола и возраста, к однородным одновременно по обоим признакам, что дает возможность корректно сравнивать показатели лабораторных исследований, а также диагнозы. Рекомендовано внедрение разработанного метода для анализа данных, содержащихся в медицинских информационных системах, применительно к различным профессиональным группам. Это позволит контролировать риски в системе управления охраной труда и принимать грамотные врачебные решения.

**Ключевые слова:** медицинские данные, бинарные выборки, анализ данных, вредные производственные факторы, шум, вибрация.

## METHOD FOR COMPARING BINARY SAMPLES IN THE ANALYSIS OF MEDICAL DATA FOR MAKING MANAGERIAL DECISIONS

©2020

**Geger Emiliya Vladimirovna**, doctor of biological sciences,  
professor of the Department "Life Safety and Chemistry"

*Bryansk State Technical University*  
(241035, Russia, Bryansk, Blvd. 50 years of October, 7, e-mail: emiliya\_geger@mail.ru)

**Kozlova Irina Romanovna**, postgraduate student,

*Bryansk State Technical University*  
(241035, Russia, Bryansk, Blvd. 50 years of October, 7, e-mail: kozlowa.iri2014@yandex.ru)

**Yurkova Olga Nikolaevna**, candidate of economic sciences,  
associate Professor of the Department «Information technologies»

*Bryansk State Engineering and Technological University*  
(241037, Russia, Bryansk, Dimitrov prospect, 3, e-mail: yurkova\_olga@mail.ru)

**Evelson Lev Igorevich**, candidate of technical sciences,  
associate professor Director of research and innovation

*«Innovation Scientific Centre of Information and Remote Technologies», Limited Liability Company,*  
(241007, Russia, Bryansk, Bezhitskaya St. 1/4, e-mail: levelmoscow@mail.ru)

**Abstract.** The article describes the study of the dependence of morbidity, as well as indicators of laboratory research

on the presence of harmful industrial factors of noise and vibration. An approach based on comparing binary samples is being developed and used. The analysis of medical data accumulated in a transactional medical information system makes it possible to identify diseases that are characteristic of certain complexes of harmful factors associated with industrial activities, which will improve diagnostics and treatment using digital technologies, and help to make the right management decisions. The results of the performed clinical blood analysis and urine tests were brought to a binary form by comparing them with a known interval of statistical norm, and the diagnoses presented were considered as initially binary values. The samples obtained as a result of binarization for two groups, the first group includes people who have harmful factors in their production activities, and the second group includes those who do not have these factors, were compared with each other. A method of sample adjustment has been developed and applied that allows to bring samples that are initially heterogeneous in terms of gender and age to homogeneous simultaneously in terms of both characteristics, which makes it possible to compare correctly laboratory research indicators, as well as diagnoses. It is recommended to implement the developed method for analyzing data contained in medical information systems in relation to various professional groups. It will allow to control risks in the occupational safety management system and make competent medical decisions.

**Keywords:** medical data, binary samples, data analysis, harmful occupational factors, noise, vibration.

**Введение.** В системе здравоохранения быстрыми темпами идет информатизация, что приводит к накоплению больших объемов данных о лечебно-диагностическом процессе медицинских учреждений, являющихся источником информации для подготовки управленческих решений [1, с. 82; 2, р. 309].

Сохранение здоровья работающего населения является приоритетным направлением государственной политики в области охраны труда и профилактики профессиональной заболеваемости. Оценка уровня вредного воздействия на работников в процессе их трудовой деятельности отдельных факторов трудового процесса и выработка механизмов управления ими с целью снижения до уровней приемлемых рисков позволяет сохранять профессиональное здоровье работающих и ведет к сбережению трудовых ресурсов [3, с. 80; 4, с. 155; 5, с. 15; 6, с. 78; 7, с. 3-5].

Анализ клинических данных о пациенте на основе обработки различных массивов медицинских данных с целью принятия обоснованных врачебных решений занимают в настоящее время особое место в информационных технологиях [8, с.122; 9].

Комплексная статистическая обработка результатов исследований представляет собой сложную задачу и является грамотным и достоверным инструментом для интерпретации данных и принятия правильных управленческих решений [2, р. 310-312; 10, с. 12; 11, с.82].

Статистическое описание данных медицинских исследований и оценка значимости различий величин, отражающих действенность проводимых профилактических, диагностических и лечебных процедур, являются основой доказательной медицины. Для анализа медицинской информации в настоящее время используются разнообразные статистические методы. В современной литературе они достаточно широко освещены [12, с. 8-9; 13, с.126-127; 14, с. 178; 15; 16, с. 24-27].

Анализ медицинских данных, как правило, основывается на строгом учете статистических закономерностей. Для обработки медицинской информации используют различные методы математической статистики, выбор одного из которых в каждом

конкретном случае основывается на характере распределения анализируемых данных [17, с. 50].

В нашем исследовании для анализа данных в медицинских информационных системах, в частности, выявления характерных заболеваний, присущих действию вредных производственных факторов шума и вибрации, предложено и изучается применение метода сравнения бинарных выборок.

Преимущества данного метода в отличие от параметрических методов заключается в том, что он не требует выполнения серьезных допущений о виде закона распределения. По сравнению с непараметрическими методами его преимущество заключается в том, что он менее чувствителен к объему выборок и значительно проще в реализации.

**Материалы и результаты исследования.** В соответствии с поставленной целью выявления взаимосвязи лабораторных показателей общего анализа крови (ОАК) и общего анализа мочи (ОАМ), а также выставляемых диагнозов согласно международной классификации болезней (МКБ-10) [18], связанных с наличием производственных вредностей, для работников, имеющих вредные производственные факторы – шум и вибрацию (группа I), из медицинской информационной системы (МИС) по результатам периодических медицинских осмотров отбирались данные, относящиеся к этой группе.

Вторую группу лиц, работа которых не связана с вредными производственными факторами шума и вибрации, планировалось взять в качестве контрольной группы условно здоровых людей (группа II).

Рассматривались бинарные данные, которые являются результатами измерений альтернативного признака. Бинарные случайные величины принимают только два возможных значения – «0» и «1».

В процессе исследования решался вопрос о значимости различия средних частот двух выборок бинарных (двоичных) данных, т.е. данных, которые могут быть представлены закодированным ответом на вопрос, на который можно ответить «да» или «нет» («да», выходит за границы нормы, или «нет», не выходит).

Такая выборка характеризуется объемом  $n$  и

частотой  $p=m/n$ , с которой в рассматриваемой выборке встречается ответ «да»  $m$  и по которой оценивается соответствующая вероятность  $p$ . В вероятностной модели предполагается, что  $m$  является биномиальной случайной величиной  $B(n,p)$ , т.е. случайной величиной с параметрами  $n$  – объем выборки и  $p$  – вероятность определенного ответа (например, «да»). Такая случайная величина может быть представлена в виде:  $m=X_1+X_2+\dots+X_i$  (1)

где  $m$  – число ответов «да»;  $X_i$  – это независимые одинаково распределенные случайные величины, которые могут принимать одно из двух значений (1 или 0), причем, если  $P(X_i=1)=p$ , то  $P(X_i=0)=1-p$  [19, 20].

В нашей задаче применение метода бинарных выборок основано на сравнении значений индикаторных показателей с известной нормой, что дает возможность неявно использовать результаты ранее проводившихся статистических исследований, в результате которых были установлены границы интервала нормы.

Метод, основанный на сопоставлении исследуемых групп по показателям лабораторных исследований, предусматривал бинаризацию результатов лабораторных анализов ОАК и ОАМ по признаку соответствия принятой норме, принимающих только два возможных значения – «да» или «нет», т.е. «соответствует» или «не соответствует». Если значение какого-либо показателя выходит за пределы нормы, то соответствующей бинарной величине присваивается значение «1», в противном случае – значение «0».

На предварительном этапе осуществлялась консолидация данных на основе медицинской информационной системы.

Рассматриваемая исходная группа оказалась неоднородной по отношению к другой группе. Было принято решение провести исследование, разработать и апробировать методику корректировки выборок с целью достижения однородности при максимальном сохранении данных, используемых для анализа.

Графически методика представлена на рисунке 1.

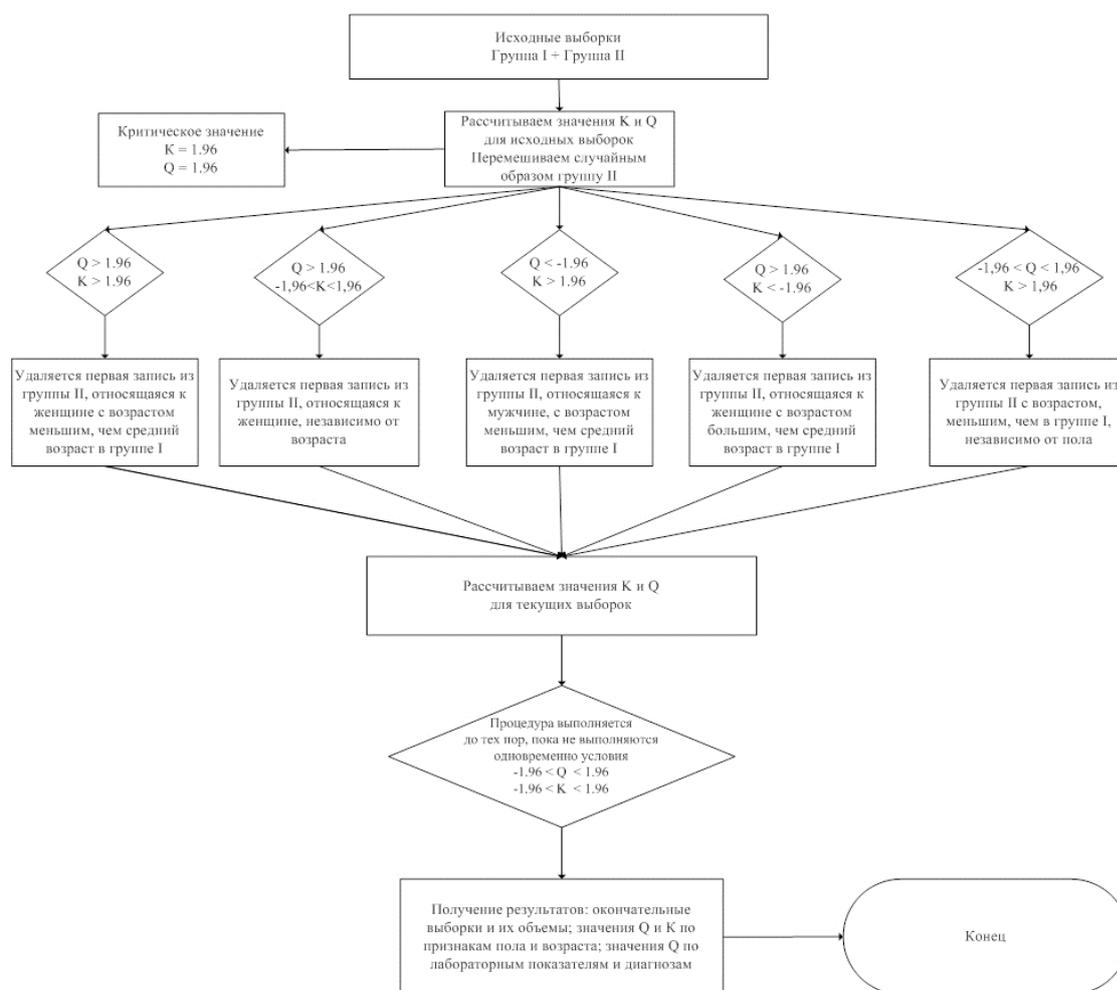


Рисунок 1 – Алгоритм методики корректировки выборок при сравнении групп I и II  
( $Q$  – критерий по полу;  $K$  – критерий по возрасту)

С учетом анализа задачу нашего исследования можно сформулировать следующим образом: разработка и применение методики корректировки выбо-

рок, позволяющей привести выборки, исходно неоднородные по признакам пола и возраста, к однородным одновременно по обоим признакам, что

дает возможность корректно сравнивать лабораторные показатели исследований, а также диагнозы (рис. 1).

Предварительный расчет показал, что две группы неоднородны по полу и возрасту. Методика также построена на принципах рандомизации и экономии информации. Рандомизация означает, что строки сначала случайным образом перемешиваются, а уже затем последовательно удаляются по одной, вплоть до выполнения критерия однородности. После этого производится новый расчет по лабораторным показателям. В качестве критерия однородности по признаку пола использовалась величина  $Q$ , определяемая по формуле критерия сравнения частот бинарных выборок (2) [19], а по количественному признаку возраста использовался критерий Крамера – Уэлча (3) [20].

$$Q = \frac{p_1^* - p_2^*}{\sqrt{\frac{p_1^*(1-p_1^*)}{n_1} + \frac{p_2^*(1-p_2^*)}{n_2}}} \quad (2)$$

где звездочками обозначены выборочные частоты бинарных выборок, являющиеся оценками соответствующих вероятностей:  $p_i^* = m_i/n_i$ ,  $n_i$  – объем выборки I;  $n_2$  – объем выборки II;  $m_i$  – количество значений, выходящих за пределы нормы в выборке I;  $m_2$  – количество значений, выходящих за пределы нормы в выборке II. В методике корректировки выборок по возрасту использовался критерий Крамера – Уэлча  $t_k$  (3). В данном случае критерий используется традиционным для статистических методов образом как критерий значимости разницы средних значений двух количественных выборок [19]:

$$t_k = \frac{1}{s}(\bar{x} - \bar{y}) \quad (3)$$

где

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (4)$$

$$s_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5)$$

$$s_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 \quad (6)$$

где  $\bar{x}$  – выборочное среднее арифметическое значение возраста выборки I;  $\bar{y}$  – выборочное среднее арифметическое значение возраста выборки II;  $n_1$  – количество значений в выборке I;  $n_2$  – количество значений в выборке II;  $s_1^2$  – несмещенная (исправленная) оценка дисперсии выборки I;  $s_2^2$  – несмещенная (исправленная) оценка дисперсии выборки II;  $s$  – несмещенная (исправленная) оценка дисперсии разности выборочных средних рассматриваемых выборок.

В таблице 1 представлены исходные (до удаления строк) объемы выборок I и II и результаты сравнения этих двух выборок по критериям пола и возраста, произведенного по формулам (2) и (3). Приведены результаты корректировки: объемы скорректированных выборок и расчетные значения критериев однородности по полу и возрасту.

Таблица 1 – Сравнение исходных выборок (до и после корректировки)

Наименование выборки	Объем выборки	Кол-во мужчин в выборке	Кол-во женщин в выборке	Средний возраст	Расчетное значение Q*	Расчетное значение K*	Критическое значение критериев
Исходные объемы выборок (до удаления строк)							
Группа I	149	139	10	51,7	6,72	11,1	1,96
Группа II	506	376	130	41,4			
Результаты корректировки выборок							
Группа I	149	139	10	51,7	1,896	1,896	1,96
Группа II	136	118	18	49,5			

\*Q – критерий по полу; K – критерий по возрасту

Как видно из таблицы 1 сравниваемые исходные выборки оказались неоднородными как по полу, так и по возрасту.

Далее были получены результаты сравнения бинарных выборок по лабораторным показателям (по числу выходов этих показателей за пределы нормы) и по выставлявшимся диагнозам.

Процедура расчета, в соответствии с разработанной методикой корректировки выборок, была построена следующим образом:

1. Перемешиваем случайным образом выборку II и затем удаляем поочередно по одной записи, удовлетворяющей критерию удаления, но критерий проверяем сразу по двум признакам: полу и возрасту.

В качестве критерия по возрасту примем Критерий Крамера – Уэлча, формула (3), критическое значение равно 1,96. В качестве критерия по полу берем формулу для вычисления  $Q$  (2), и то же критическое значение 1,96. До корректировки было  $Q > 1,96$  и расчетное значение по Крамеру – Уэлчу тоже  $K > 1,96$ . Следующая запись в группе II удаляется, если она относится к женщине с возрастом меньше, чем средний возраст в группе I. Процедура такого удаления осуществляется до тех пор, пока хотя бы одно из значений  $Q$  и  $K$  не станет меньше 1,96.

2. Если возникнет ситуация  $Q < 1,96$ ;  $K > 1,96$ , то далее удаляются только записи в группе II со средним возрастом меньше, чем средний возраст в группе

I, независимо от пола. Если возникнет ситуация, наоборот,  $Q > 1,96$ ;  $K < 1,96$ , то далее удаляются только женщины в группе II, независимо от возраста. При этом оба признака продолжают контролироваться.

3. Если возникнет ситуация  $Q < -1,96$ ,  $K > 1,96$ , то далее удаляем мужчин со средним возрастом меньше, чем средний возраст в группе I. Если возникнет ситуация  $Q > 1,96$ ;  $K < -1,96$ , то далее удаляем женщин со средним возрастом больше, чем средний возраст в группе I.

4. Процедура выполняется до тех пор, пока оба расчетных значения критериев не станут одновре-

менно меньше по модулю, чем 1,96. При этом процедура заканчивается, и результаты по лабораторным показателям и диагнозам (а также конечное значение числа записей в выборке II,  $n_2$ ) принимаются за окончательные результаты расчета.

Для достижения однородности по обоим признакам (полу и возрасту) пришлось очень существенно сократить выборку II, так как иначе не удавалось достичь выполнения критерия однородности.

Результаты расчета по скорректированным выборкам лабораторных показателей для обоих критериев представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сравнения частот выхода за пределы нормы по скорректированным выборкам лабораторных показателей

Наименование показателей	ШИВ		Все остальные		Расчетное значение Q после корректировки	Расчетное значение Q до корректировки
	p1		p2			
Гемоглобин	62	0,416	54	0,397	0,327	0,415
Лейкоциты (ОАК)	16	0,107	9	0,066	1,244	1,489
Тромбоциты	12	0,081	6	0,044	1,282	1,512
Лимфоциты	32	0,215	31	0,228	-0,268	-0,343
Моноциты	28	0,188	36	0,265	-1,550	-2,046
Эритроциты (ОАК)	74	0,497	34	0,50	4,461	5,450
Ретикулоциты	1	0,007	20	0,147	-4,513	-8,204
Эозинофилы	47	0,315	64	0,471	-2,709	-3,521
Гематокрит	53	0,356	45	0,331	0,441	0,558
СОЭ	21	0,141	27	0,199	-1,293	-1,715
Лейкоциты (ОАМ)	26	0,174	12	0,088	2,185	2,571
Эритроциты (ОАМ)	24	0,161	17	0,125	0,872	1,076
Общий холестерин	90	0,604	75	0,551	0,898	1,148
Глюкоза	15	0,101	9	0,066	1,058	1,277

**Заключение.** Таким образом, значимо больше отклонения от нормы в группе I имеют место только по эритроцитам в ОАК и лейкоцитам в ОАМ.

1. Разработана и применена методика корректировки выборок I и II, позволяющая привести выборки, исходно неоднородные по признакам пола и возраста, к однородным одновременно по обоим признакам, что дает возможность корректно сравнивать показатели лабораторных исследований и диагнозы.

2. Найден лабораторные показатели ОАК и ОАМ, для которых выходы за пределы нормы встречаются значимо чаще в группе I: эритроциты в крови и лейкоциты в моче.

3. Найден диагнозы, которые значимо чаще встречаются в группе I: *H35.0* (Периферические ретикулярные дегенерации); *H52.0* (Гиперметропия); *E78* (Чистая гиперхолестеринемия); *J44.9* (Хроническая обструктивная легочная болезнь неуточненная); *R73.0* (Отклонения результатов нормы теста на толерантность к глюкозе); *R72* (Аномалия лейкоцитов, не классифицированная в других рубриках).

4. Для всех тех показателей ОАК и диагнозов, по которым получено значимо большее превышение в

группе I, этот результат получен как до корректировки выборок, так и после нее. Это подчеркивает статистическую устойчивость полученных результатов и говорит о том, что в данной конкретной задаче неоднородность по полу и возрасту слабо влияет на окончательные выводы.

5. Выявлены лабораторные показатели, отклонения которых от нормы наблюдаются для исходной группы значимо чаще, чем в другой группе, что позволит разработать управленческие решения в проведении профилактических мероприятий.

6. Целесообразно внедрить разработанный метод для анализа данных, содержащихся в информационных системах медицинских организаций, применительно к различным профессиональным группам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Смирнова И.В. и др. Методы и средства комплексного интеллектуального анализа медицинских данных. Труды ИСА РАН. Том 65. 2. 2015. – С.81-93.
2. E. Geger, A. Podvesovskii, S. Kuzmin, V. Tolstenok. 2019. Methods for the Intelligent Analysis of Biomedical Data. GraphiCon 2019. Computer Graphics and Vision Proceedings of

the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision (Sep. 2019), Vol. 2485. 308-311. DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-308-311.

3. Гегерь Э.В., Федоренко С.И., Евельсон Л.И., Козлова И.Р. Разработка метода оценки профессиональных заболеваний для создания информационной системы производственной безопасности // Вестник НЦ БЖД. 2019. №1 (39). – С. 79-87.

4. Гегерь Э.В. Цифровое здравоохранение: перспективы развития // «Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты» Матер. II международной науч.-практ. конф. Брянск. 2019. – С. 153-157.

5. Измеров Н.Ф., Актуализация вопросов профессиональной заболеваемости // Здравоохранение Российской Федерации. 2013. № 2. – С. 14-17.

6. Исмаилова Л.Н. Эффективное управление производственными рисками // Экономика и бизнес: теория и практика. 2016. №5. – С. 77-79.

7. Костенко Н.А. Условия труда и профессиональная заболеваемость как основа управления рисками для здоровья работников: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2015. – 21 с.

8. Цыганкова И.А. Метод интеллектуальной обработки медико-биологических данных [Текст] / И.А. Цыганкова // Программные продукты и системы. 2009. № 3. – С. 120-123.

9. Bruce McCormick (2014) Update in Anaesthesia. World Federation of Societies of Anaesthesiologists. 466 p.

10. Карпов О.Э., Субботин С.А., Шишканов Д.В. Использование медицинских данных для создания систем поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. 2019. №2. – С. 11- 18.

11. Куракова Н.А. Информатизации здравоохранения как инструмент создания «саморегулируемой системы организации медицинской помощи» // Врач и информационные технологии. 2009. №2. – 82 С.

12. Гусев А.В. Рынок медицинских информационных систем: обзор, изменения, тренды // Врач и информационные технологии. 2012. №3. – С. 6-15.

13. Ильин В.П. Корреляционный анализ количественных данных в медико-биологических // Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. 2013. № 4. – С. 125–130.

14. Макарова Н.В. Статистический анализ медико-биологических данных с использованием пакетов статистических программ Statistica, SPSS, NCSS, SYSTAT : методическое пособие / Н.В. Макарова ; Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России – СПб.: Политехника-сервис, 2012. – 178 с.

15. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (дата обращения: 10.03.2020).

16. Сташевский П.С. Поддержка принятия решений в здравоохранении с использованием показателя популяционного риска заболеваемости: автореф. дис.... канд. тех. наук. Новосибирск, 2014. – 20 с.

17. Свальковский А.В., Захаров С.Д. Аналитическая обработка баз данных внедренных информационных систем// Врач и информационные технологии. 2016. №5. – С. 49- 55.

18. Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mkb-10.com> (дата обращения 20.07.2019).

19. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

20. Орлов А.И. Прикладная статистика / А.И. Орлов. – М.: Издательство «Экзамен», 2006. – 671 с.

*Статья поступила в редакцию 10.05.2020*

*Статья принята к публикации 10.06.2020*

УДК 681.518

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0030

## УДАЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

© 2020

**Шамраев Анатолий Анатольевич**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры информационных и робототехнических систем

**Левченко Валентина Андреевна**, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем  
*Белгородский государственный национально-исследовательский университет*  
(308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, e-mails: shamraev@bsu.edu.ru, 1078244@bsu.edu.ru)

**Аннотация.** Разработка эффективных методов выявления и прогнозирования повреждений воздушных линий электропередач является актуальной, поскольку ее успешное решение и последующее развитие вносят важный вклад в обеспечение надежности, долговечности и безопасности эксплуатации линий электропередач. Решение этой задачи создает условия для повышения эффективности использования капитальных вложений в строительство и ремонт существующих линий, помогает рационально планировать различные регламентные работы, а также приносить определенный социальный эффект. Целью настоящей статьи является обеспечение подробными сведениями о текущем состоянии воздушных высоковольтных линий электропередач для локализации аварийных сегментов, а также прогнозированию проблемных ситуаций путем разработки новой технологии получения дифференциальных поправок при фазовых измерениях глобальными спутниковыми системами. Освещены проблемы локализации участков повреждений воздушных линий электропередач (ЛЭП) распределительных сетей в период эксплуатации. Определены основные недостатки существующих методов диагностики ЛЭП, которые приводят к перебоям в работе, и обоснована необходимость совершенствования существующих и разработки новых методов обнаружения участков с повреждениями на основе технологий глобального спутникового позиционирования. Новизной отличается также мониторинг повреждения линий электропередач, в результате которого можно оценивать на месте в реальных погодных условиях характеристики вибрации линий электропередачи с различной конструкцией, натяжением проводов и техническим обеспечением, определять номинальный срок службы проводов, подвергающихся вибрации. В результате определена математическая модель для прогнозирования на ее основе состояний линий электропередач, позволяющая с помощью спутникового позиционирования определять точное место повреждения линий электропередач.

**Ключевые слова:** линии электропередач, мониторинг, повреждение.

## REMOTE METHODS OF MONITORING ELECTRIC TRANSMISSION LINES

© 2020

**Shamraev Anatolij Anatolevich**, ph.D. in Technical Science,  
associate professor Department of Information and Robotic Systems

**Levchenko Valentina Andreevna**, postgraduate student Department of Information and Robotic Systems  
*Belgorod National Research University*

(308015, Belgorod, Pobedy str., 85, e-mails: shamraev@bsu.edu.ru, 1078244@bsu.edu.ru)

**Abstract.** The development of effective methods for detecting and predicting damage to overhead power lines is urgent, since its successful solution and subsequent development make an important contribution to ensuring the reliability, durability and safety of operation of power lines. This task creates conditions for increase of efficiency of use of capital investments in the construction and repair of existing lines, helps to efficiently manage various maintenance work and also bring certain social benefits. The purpose of this article is providing detailed information about the current status of air high-voltage transmission lines to locate emergency segments as well as forecasting of problem situations through the development of new techniques for obtaining differential corrections in the phase measurements, global satellite systems. The problems of locating sites of damage of overhead transmission lines (transmission lines) distribution networks during operation. Identifies the main shortcomings of existing methods of diagnostics of power lines, which lead to interruptions in the work, and the necessity of improving existing and developing new methods to detect areas with damages on the basis of technologies of global satellite positioning. Novelty is also monitoring damage to power lines, which can be evaluated on the spot in real weather conditions, the vibration characteristics of transmission lines with different design, the tension wires and technical support to determine the rated lifetime of wires exposed to vibration. As a result, define a mathematical model to predict on its basis the state of power lines that allow you to use satellite positioning to determine the exact location of the damage power lines.

**Keywords:** power lines, monitoring, damage.

**Введение.** Основной функцией линий электропередач является непрерывное снабжение потребителей электроэнергией. Учитывая современные способы строительства и эксплуатации воздушных линий, часто возникают чрезвычайные процессы,

которые приводят к повреждениям (воздействие стихии, несвоевременное выявление и устранение дефектов, несвоевременная вырубка деревьев, воздействие природы и посторонних лиц) (рис.1).

Из-за большой протяженности и влияния мно-

жества различных внешних воздействий наиболее ненадежным элементом схемы электрических соединений являются линии электропередачи. Наиболее частными повреждениями элементов электроэнергетической системы являются линии электропередач высокого напряжения (рис. 2). В городских

сетях около 85 % отключений приходится из-за них, а в сельских сетях – 90-95 %. Развитие данного направления электроэнергетики обуславливает поиск новых научных решений для удовлетворения потребностей на рынке электроэнергии с наименьшими эксплуатационными затратами.

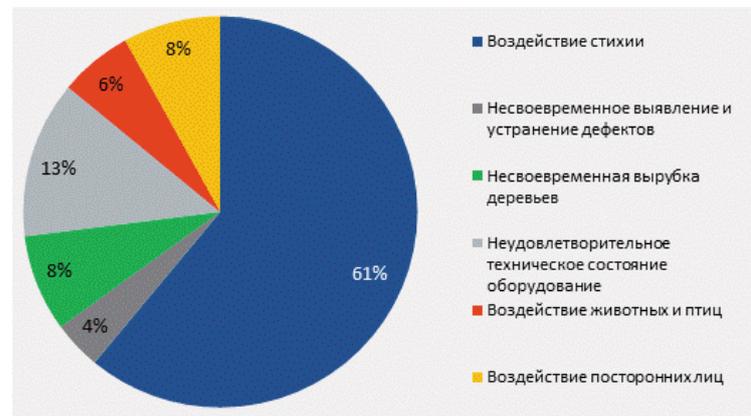


Рисунок 1 – Основные причины технологических нарушений в 2019 году по Белгородской области

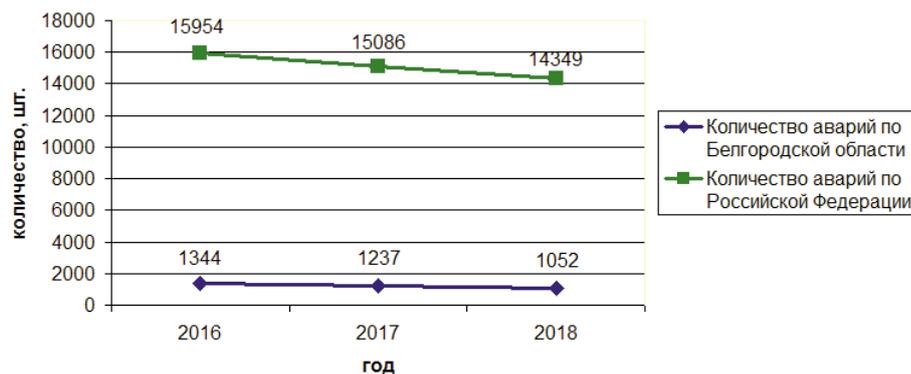


Рисунок 2 – Информация об аварийности в электросетях

**Целью** исследования является обеспечение сведениями о текущем состоянии воздушных высоковольтных линий электропередач для локализации аварийных сегментов, а также прогнозирование проблемных ситуаций путем разработки новой технологии получения дифференциальных поправок при фазовых измерениях глобальными спутниковыми системами.

**Материалы и результаты исследования.** Первоначально при разработке электрооборудования и строительства высоковольтных линий необходимо прорабатывать вопрос мониторинга повреждений линий электропередач. По завершению срока службы или в процессе эксплуатации оборудования встает вопрос о методах выполнения диагностических мероприятий определения повреждений. Обоснованный выбор методов мониторинга надежности эксплуатации линий электропередач является одной из ключевых проблем развития электроэнергетики, решению которой посвящены работы многих зарубежных и отечественных ученых.

Современные условия ставят задачу необходимости разработки алгоритма и прибора для определения

точного места повреждения высоковольтных линий. Использование результатов этой разработки во всей энергетической системе поможет оказать влияние на быстрое и своевременное решение проблем.

Повреждение линий воздушных электропередач приводит к нарушению привычного электроснабжения энергопотребителей и должно быть ликвидировано в самые быстрые сроки. На локализацию места повреждения линии электропередач приходится большая часть времени, затраченного на восстановление электроснабжения потребителей. Современные воздушные линии передач оснащены релейной автоматической защитой, однако, определить точное место повреждений без участия человека практически невозможно. Это обусловлено спецификой распределительных сетей, где не применяются регистраторы аварийных режимов и высокочастотная обработка линий. [1] Дополнительно, электрические сети имеют сложную структуру. На основании этого, широкое распространение получили методы локализации места повреждения переносными приборами, лазерное сканирование (воздушное и наземное), аэрофотосъемка и стереофотограмметрия,

спутниковый мониторинг, которые позволяют путем ряда последовательных измерений однозначно локализовать место повреждения.

Современная технология лазерного аэросканирования позволяет получить наиболее полную технологическую информацию о техническом состоянии ЛЭП. Точность измерения зависит от технологии съемки и установленного на борту навигационного оборудования. При применении лазерного аэросканирования, технологическая съемка позволяет измерять геометрические параметры ЛЭП с точностью около 15 см.

Для качественного обследования ЛЭП с помощью аэрокосмической съемки необходимо получать качественные снимки, что приводит к применению дорогостоящего оборудования, а также увеличению времени обработки изображения с помощью компьютерных комплексов.

При применении спутникового мониторинга ограничено разрешение снимков, что влияет на отображение многих элементов линий электропередач, например провода и грозозащитные тросы. Отсутствие четкости, облачности и контрастности влияет на получение верных и точных данных при спутниковом мониторинге, который хорошо подходит для обследования состояния охранной зоны ЛЭП. [2-7]

Изучив решения данной проблемы в зарубежных [8] и отечественных [9,10] источниках, можно прийти к выводу, что выявить дефекты дистанционно, в режиме реального времени большинство рассмотренных технических решений по определению мест повреждений линий электропередач не имеют возможности. Выявление механических повреждений линий электропередач возможно лишь при использовании глобальной системы позиционирования, позволяющей определить точное местоположение проводов и опор и локализовать участки с повреждениями.

$$\Phi_A^i(t) = p_A^i(t, t - \tau_A^i) - I_A^i + T_A^i + \delta m_A^i + c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + c[\delta_A(t) + \delta^i(t - \tau_Z^i)] + \lambda[\phi_A(t_0) - \phi^i(t_0)] + \lambda N_A^i + \varepsilon_A^i$$

где  $p_A^i(t, t - \tau_A^i)$  - геометрическая дальность, то есть истинное расстояние между приёмником в момент приёма сигнала и спутником в момент выхода сигнала,

$I_A^i$  - ионосферная задержка,

$T_A^i$  - тропосферная задержка,

$\delta m_A^i$  - влияние многопутности на фазовые измерения,

$dt_A, dt^i$  - поправки часов соответственно для пункта и для спутника,

$\delta_A, \delta^i$  - запаздывания сигналов в цепях измерения фазы в приемнике и на спутнике,

$\phi_A, \phi^i$  - начальные фазы генераторов спутника и приемника,

$\tau_A^i$  - время прохождения сигнала,

Таким образом, для решения указанной задачи предлагаем разработать следующие мероприятия:

- разработать методы определения места аварийного отключения линий электропередач при технологических нарушениях;
- разработать систему, которая определяет повреждение дистанционно, с точностью до мм;
- разработать устройство, которое не должно быть восприимчиво к климатическим воздействиям;
- сформулировать системные требования для устройства;
- усовершенствовать метод дифференциального определения местоположения объекта с помощью GPS приемника;
- разработать устройство, которое не должно влиять на работоспособность ЛЭП;
- выполнить апробацию разработанной системы.

Точное определение местоположения объекта предполагает использование современных методов измерений, которые обеспечат собрать полную информацию о техническом состоянии ЛЭП. Уменьшить время определения места повреждения и снизить объем работ для обслуживающего персонала позволят мероприятия по дистанционному определению места повреждения участка ЛЭП.

Для определения места аварийного отключения линий электропередач в режиме «реального времени» предлагаем использовать глобальную систему позиционирования. Координаты приемников будем измерять относительно вектора базы – режим *DGPS* (*differential global positioning system*). Использование данного метода позволит создать прибор с необходимой точностью измерений. Для этого будем использовать фазовые двухчастотные приемники и фазовые измерения.

Уравнения фазы несущей при измерениях с некоторого пункта *A* на спутник *i*, часто записывают в виде:

$N_A^i$  - целочисленная начальная неоднозначность фазы, - длина несущей волны,  
 $\varepsilon_A^i$  - шумы измерения фазы.

Наблюдение фазы взаимосвязано с остальными измерениями спутника и должно производиться непрерывно.

При сохранении постоянного захвата сигнала спутника появляется возможность производить высокоточные кинематические измерения. Все наблюдения фазы для одного спутника  $\Phi_A^i$  содержат одну и ту же начальную целочисленную неоднозначность  $N_A^i$ .

Для исключения разности ошибок получим разности между результатами измерений с двух пунктов *A* и *B* на двух спутниках *i* и *j*, относящихся к эпохам:

$$\Phi_{AB}^{ij} = p_{AB}^{ij} - I_{AB}^{ij} + T_{AB}^{ij} + \lambda N_{AB}^{ij} + dm_{AB}^{ji} + \varepsilon_{AB}^{ij}$$

Обработка отдельной базовой линии по фазовым данным будет строиться на решении по тройным разностям:

$$\Phi_{AB}^{ij}(t_1, t_2) = p_{AB}^{ij}(t_1, t_2) - I_{AB}^{ij}(t_1, t_2) + T_{AB}^{ij}(t_1, t_2) + \lambda N_{AB}^{ij} + \varepsilon_{AB}^{ij}(t_1, t_2)$$

При этом уравнение поправок имеет вид:

$$-dR_B(\lambda_B^{ji}(t_1, t_2)) + I_{AB}^{ji}(t_1, t_2) = v_{AB}^{ji}(t_1, t_2)$$

где

$$\lambda_B^{ji}(t_1, t_2) = (u_B^i(t_2) - u_B^j(t_2)) - (u_B^i(t_1) - u_B^j(t_1))$$

$$I_{AB}^{ij}(t_1, t_2) = (p_{AB}^{ij}(t_2))^0 - (p_{AB}^{ij}(t_1))^0 - I_{AB}^{ij}(t_2) + I_{AB}^{ij}(t_1) + T_{AB}^{ij}(t_2) - T_{AB}^{ij}(t_1) - \Phi_{AB}^{ij}(t_1, t_2)$$

Для вычисления будут разработаны математические модели ионосферы и тропосферы, которые на основе комплексной обработки навигационных данных обеспечивают повышение точности расчета.

Общее выражение для тропосферной задержки имеет вид:

$$T_A^i = \frac{0,002277 \left[ P + \left( 0,05 + \frac{1255}{T} \right) e^{-tg2Z} \right]}{\cos Z}$$

где

$P$  – давление, Па;

$T$  – температура, К;

$Z$  – зенитное расстояние, градусы.

Общее выражение для ионосферной задержки имеет вид:

$$I_A^i = 40,4 \cdot I_V \cdot f^{-2} \left[ \cos ec(\delta^3 + 20,32) \right]^{1/2}$$

$$I_V = \int N_e dr$$

Где  $I_V$  – вертикальная интегральная электронная концентрация  $TEC$  (Total Electron Content) в эл/м<sup>2</sup>;

$f$  – частота в герцах;

$d$  – угол места КА в градусах.

$N_e$  – число электронов в м<sup>3</sup>.

**Заключение.** Разработка и развитие технологий определения местоположения является приоритетным направлением. Различные методы и технологии определения координат открывают новые возможности для непрерывного мониторинга линий электропередач, а также прогнозирование их изменения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Полуянова М. С., Соколов Д. С., Баева Л. В., Киселёв Г. Ю. Дистанционные методы обследования линий электропередач // Молодой ученый. – 2017. – №22. – С. 68 – 70.
2. Катеров Ф.В., Ремесник Д.В. Дистанционное определение места повреждения линии методом стоячих волн // International scientific review, 2016. №13 (23). С. 24 – 25.
3. Куликов А.Л., Петрухин А.А., Кудрявцев Д.М. Анализ подходов к дистанционному определению нарушений изоляции магистральных линий электропередач // Проблемы энергетики, 2007, №9-10. С. 52 – 62.
4. Дистанционное определение мест повреждений ЛЭП методами активного зондирования: монография / А. Л. Куликов. – Москва : Энергоатомиздат, 2006. – 147 с.
5. Белотелое А.К., Саухатас А.-С.С., Иванов М.В., Любарский Д. Р. Алгоритмы функционирования и опыт эксплуатации микропроцессорных устройств определения мест повреждения линий электропередачи // Электрические станции. 1997. – № 12. – С. 7 – 12.
6. Радкевич В.У., Ничипорович Л.В. Исследование методов оптимизации процесса поиска повреждения в городских

сетях 6-10 кВ // Энергетика. – 1977. – № 1. – С. 107 – 109.

7. Солдатов В.А. Расчетные и экспериментальные исследования методов расчета и определения места возникновения аварийных режимов в электрических сетях 35 кВ. / В.А. Солдатов, А.С. Яблоков // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. – Кострома: Костромская ГСХА, 2017. – Выпуск 86. – С. 139 – 143.

8. Chareanriksem S. Anantavanich K., Prungkhwanmuang S., Suwanasri T. Enhancement of substation reability by retrofitting existing bus configuration applying hybrid switchgear: B3-206. CIGRE – 2012. – P. 9.

9. Гук Ю.Б. Анализ надёжности электроэнергетических установок. Л: Энергоавтомиздат. Ленингр. Отд-ние 1988. – 244с.

10. Тошходжаева М.И. Анализ повреждений воздушных линий электропередач 35-220 кВ на примере Согдийской электрической сети // Вестник Чувашского университета. – 2016. – № 1. – С. 105 – 111.

11. The Automatic Precise Point Positioning Service of the Global Differential GPS System [Электронный ресурс]. – Jet Propulsion Laboratory. – Режим доступа: <http://apps.gdgps.net/>.

12. Takagi T., Yamakosi Y., Yamura M. et al. Development of a New Type Fault Locator using the One-Terminal Voltage and Current Data // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101. – 1982. - № 8. – P. 2892 – 2898.

13. Аким Э.Л., Тучин Д.А. Апостериорная оценка точности определения вектора состояния земного наблюдателя по измерениям дальности и скорости системы космической навигации GPS, препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Редакционно-издательская группа. – 2001 – № 36. – 24с.

14. Тошходжаева, М.И. Повышение надежности ВЛЭП-110 кВ на стадии проектирования и эксплуатации / М.И. Тошходжаева, О.С.Рахимов, А.А.Ходжиев // ЖЭлектрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2017. – № 3. – С. 47 – 49.

15. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях: учеб. Для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312с.

16. Ztoupis, I.N. Uncertainty evaluation in the measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC overhead power lines / I.N. Ztoupis, I.F. Gonos, I.A. Stathopoulos // Radiation Protection Dosimetry, Athens, Greece, 2003. – P. 1-11.

17. Shi J. Precise Point Positioning Integer Ambiguity Resolution with Decoupled Clocks. University of Calgary, 2012. – 192 p.

18. Куприянов А.О. Глобальные навигационные спутниковые системы: Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2017, – 76 с.

19. Валайтите А.А., Никитин Д.П., Садовская Е.В. Исследование влияния ошибки на точность определения параметров сигналов ГНСС (Глобальных навигационных спутниковых систем) при помощи имитатора навигационного поля // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014. №77. – С. 1 – 22.

20. Laurichesse D. The CNES Real-time PPP with undifferenced integer ambiguity resolution demonstrator, ION GNSS 2011.

Статья поступила в редакцию 10.05.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020