

vek21.penzgtu.ru

18+

ISSN 2221-951X

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

наука



2020

№ 3(51) 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:

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

Редакционная коллегия:

Акинин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор
Андреев Юрий Александрович, доктор технических наук
Антипов Сергей Тихонович, доктор технических наук, профессор
Базарнова Юлия Генриховна, доктор технических наук, профессор
Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор
Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор
Васенев Иван Иванович, доктор биологических наук, профессор
Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор
Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор
Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор
Давыденко Наталия Ивановна, доктор технических наук, доцент
Дмитриев Михаил Сергеевич, доктор технических наук, доцент
Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент
Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Косников Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор
Кручинина Наталия Евгеньевна, доктор технических наук, профессор
Мамедова Тарана Аслан кызы, доктор технических наук, профессор
Маскевич Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор
Махмудова Любовь Ширваниевна, доктор технических наук, профессор
Михеев Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор
Первухина Елена Львовна, доктор технических наук, профессор
Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор
Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор
Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук,
доктор химических наук, профессор
Таранцева Клара Рустемовна, доктор технических наук, профессор
Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор
Фатыхов Юрий Адгамович, доктор технических наук, профессор
Шалагин Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент
Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент
Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент

Ответственный секретарь

Коростелева Анна Владимировна, кандидат технических наук

© ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 2020

Основан в 2011 г.

18+

Том 9
№ 3 (51)
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 14.09.2020.
Выход в свет 21.09.2020.
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. Миллионщикова, г.Грозный, Чеченская Республика)*

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

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

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

Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии»
(Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева, г. Самара, Россия)

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

Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук, доктор химических наук,
профессор, генеральный директор ГНЦ РФ «Государственный ордена Трудового Красного Знамени НИИ
химии и технологии элементоорганических соединений», профессор кафедры химии и технологии
элементоорганических соединений
(Московский институт тонкой химической технологии имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия)

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

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология»
(Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия)

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

Шалагин Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Компьютерные системы»
*(Казанский Национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева,
г. Казань, Россия)*

Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Физика»
(Московский авиационный институт, г. Москва, Россия)

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ Вайнилович Юлия Викторовна.....	10
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ Пащенко Татьяна Юрьевна, Мартышкин Алексей Иванович.....	16
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ЦЕПОЧЕК ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НАД СИМВОЛЬНЫМИ ФАКТАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПЕРЕБОРА ЛОГИЧЕСКИХ ПРАВИЛ Кацман Виктор Игоревич, Новиков Федор Александрович.....	23
МЕТОД ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ НАБОРА ДАННЫХ, ОПТИМИЗИРУЮЩИЙ КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ СЕТЕЙ, РЕШАЮЩИХ ЗАДАЧУ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ Малинин Дмитрий Денисович.....	28
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ Мартышкин Алексей Иванович, Пащенко Татьяна Юрьевна, Бершадская Елена Григорьевна.....	33
ОСЕВОЕ ВРЕМЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ: ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА АКТУАЛЬНОЙ ПУБЛИЧНОЙ НАУЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ Мельков Сергей Анатольевич, Салтыкова Марина Викторовна.....	39
МЕТОДИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕМПОРАЛЬНОГО КОНЕЧНОГО АВТОМАТА В СП-МОДЕЛЬ Трокоз Дмитрий Анатольевич, Бикташев Равиль Айнулович, Синев Михаил Петрович, Федяшов Марк Сергеевич, Шеянов Николай Николаевич.....	45
РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ Павличева Елена Николаевна.....	50
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИОРИТЕТОВ Мартенс-Атюшев Дмитрий Сергеевич, Мартышкин Алексей Иванович.....	56
ТРАНСФОРМАЦИЯ РЫНКОВ СРЕДСТВ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ: ТЕНДЕНЦИИ И ПОЗИЦИИ РОССИИ НА РЫНКЕ СРЕДСТВ ПВО Крюков Алексей Анатольевич.....	61
РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ВИДЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ОЦЕНКА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА И ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА» Перепелкина Ольга Александровна, Кондратов Дмитрий Вячеславович.....	69
НЕПРЕРЫВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНТЕКСТА СОСТОЯНИЙ Пащенко Дмитрий Владимирович, Бальзанникова Елена Алексеевна.....	74

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ НОВЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Божук Николай Михайлович, Каверзнева Татьяна Тимофеевна, Скрипник Игорь Леонидович, Ксенофонтов Юрий Геннадьевич, Щербакова Ирина Олеговна.....80

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУКИ ЗАРОДЫШЕЙ ПШЕНИЦЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА ИЗ СМЕСИ РЖАНОЙ И ПШЕНИЧНОЙ МУКИ**

Лесникова Наталия Александровна, Котова Татьяна Вячеславовна.....86

О ДИСПЕРГИРОВАНИИ ЖИДКИХ СРЕД

Авроров Валерий Александрович, Мурашкина Оксана Александровна, Сарафанкина Елена Александровна.....91

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОХРАНЕНИЯ ЯБЛОК НА ИХ ЛЕЖКОСПОСОБНОСТЬ

Тимакова Роза Темерьяновна.....97

ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА БЕЛКОВ МУКИ ИЗ ПОЛУОБЕЗЖИРЕННОГО КУКУРУЗНОГО ЗАРОДЫША

Чернова Елена Викторовна, Баженова Ирина Анатольевна, Каплин Илья Денисович, Матвеева Юлия Аникториевна.....103

ВЛИЯНИЕ СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ

Нилова Людмила Павловна, Малютенкова Светлана Михайловна.....107

АДСОРБЦИОННАЯ ДЕКОЛОРИЗАЦИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МЕЛАНОИДИНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКОГО УГЛЕРОД-НАСЫЩЕННОГО СОРБЕНТА

Черепанов Игорь Сергеевич, Абдуллина Гулямза Миннулловна.....112

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЭЖХ-МС/МС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА МЕТАБОЛИТОВ НИТРОФУРАНОВ В МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ

Чаплыгина Ольга Сергеевна, Подлегаева Татьяна Викторовна, Остроумов Лев Александрович, Голубцова Юлия Владимировна.....116

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В РОТОРЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДИСПЕРГАТОРА НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Авроров Валерий Александрович, Мурашкина Оксана Александровна, Сарафанкина Елена Александровна.....121

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ С ИНГИБИТОРОМ КОРРОЗИИ**

Фаюстова Юлия Анатольевна, Красная Елена Геннадьевна.....124

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИКИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ С НАНОАЛЮМОСИЛИКАТАМИ

Панфилова Марина Ивановна, Зубрев Николай Иванович, Леонова Данута Амброжьевна, Панфилова Ирина Сергеевна, Петров Глеб Александрович.....128

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ УТОМЛЯЕМОСТЬЮ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА

Еникеев Руслан Валериевич, Рыбалкина Александра Леонидовна.....132

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО ИНФОРМИРОВАНИЯ ПассажиРОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ О ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ВЫСОТНОГО ПОЛЕТА	
Марков Николай Александрович.....	138
ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ	
Гармашов Алексей Сергеевич, Акинин Николай Иванович, Михеев Денис Игоревич.....	143
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Фаюстова Юлия Анатольевна, Красная Елена Геннадьевна.....	147
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА НОРМИРОВАНИЯ ЭМП	
Кузнецов Константин Борисович, Закирова Альфия Резавановна.....	152
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ	
Староконь Иван Викторович.....	156
ОЦЕНКА АВАРИЙНЫХ РИСКОВ С УЧЕТОМ ДИРЕКТИВЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА ДЛЯ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	
Фролова Нина Анатольевна.....	161
КОМПОЗИТНЫЕ РАСТВОРЫ С ДОБАВКАМИ МИКРОЦЕЛЛЮЛОЗЫ	
Панфилова Марина Ивановна, Зубрев Николай Иванович, Леонова Данута Амброжьевна Журавлева Маргарита Анатольевна, Андреева Валерия Юрьевна.....	165
ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ В ЦЕЛЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРРОРИЗМУ	
Романовский Георгий Борисович, Романовский Владислав Георгиевич.....	169
ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАШУМЛЕННОСТИ ЛИНИИ ПО РОЗЛИВУ ШАМПАНСКИХ ВИН	
Балинская Мария Владимировна.....	174
ОХРАНА ТРУДА ЧЛЕНОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД С УЧЕТОМ ВОЗРАСТАНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДА	
Стручалин Владимир Гайозович, Нарусова Елена Юрьевна, Навценя Владимир Юрьевич.....	179
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ СЛУХА НА ВОСПРИЯТИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЮ СИГНАЛОВ ЗАДНЕГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	
Дмитриев Михаил Сергеевич, Хасанова Марина Леонидовна, Руднев Валерий Валентинович.....	184
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИНСТРУКТАЖЕЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ-ДЕФЕКТОСКОПИСТОВ, ЗАНЯТЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ	
Крекова Ирина Сергеевна.....	188

CONTENT
INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING

TECHNOLOGY FOR INTEGRATED IMPROVEMENT OF IT PROJECTS MANAGEMENT EFFICIENCY BASED ON EVOLUTIONARY MODELING Vajnilovich Julija Viktorovna.....	10
INVESTIGATION OF AN ALGORITHM FOR A MOBILE ROBOT WITH A MACHINE VISION SYSTEM Pashchenko Tatyana Yuryevna, Martyshkin Alexey Ivanovich.....	16
AUTOMATIC VERIFICATION OF TRANSFORMATION CHAINS OF SYMBOLIC FACTS BASED ON LOGICAL RULES SEARCH Katsman Viktor Igorevich, Novikov Fedor Alexandrovich.....	23
DATA SET PROGRAM PROCESSING METHOD OPTIMIZING QUALITY OF TRAINING OF CONVOLUTION NETWORKS SOLVING THE OBJECT OF SEARCH AND IDENTIFICATION OF OBJECTS Malinin Dmitriy Denisovich.....	28
MAP DIRECTIONS SYSTEM APPLICATION UTILIZING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY Martyshkin Alexey Ivanovich, Pashchenko Tatyana Yuryevna, Bershadskaya Elena Grigorevna.....	33
AXIAL DIGITAL TRANSFORMATION TIME: EXPERTISE RELEVANT PUBLIC SCIENTIFIC COMMUNICATION Mel'kov Sergei Anatol'evic, Saltykova Marina Victorovna.....	39
CONVERSION METHODOLOGY TEMPORAL FINAL STATE MACHINE INTO PETRI NETS Trokoz Dmitrii Anatolevich, Biktashev Ravil Ainulovich, Sinev Mikhail Petrovich, Fedyashov Mark Sergeevich, Sheyanov Nikolay Nikolaevich.....	45
DEVELOPMENT OF INFORMATION RESOURCES TO ENSURE CONTINUING EDUCATION AND KNOWLEDGE TRANSFER IN TECHNICAL UNIVERSITIES Pavlicheva Elena Nikolaevna.....	50
MATHEMATICAL MODEL OF A SPECIALIZED RECONFIGURABLE MULTIPROCESSOR SYSTEM BASED ON RELATIVE PRIORITIES Martens-Atyushev Dmitry Sergeevich, Martyshkin Alexey Ivanovich.....	56
TRANSFORMATION OF THE MARKETS FOR ANTI-AIR DEFENSE: TRENDS AND POSITION OF RUSSIA IN THE MARKET OF ANTI-AIR DEFENSE Kryukov Aleksey Anatol'yevich.....	61
IMPLEMENTATION OF THE MATHEMATICAL MODEL IN THE FORM OF THE SOFTWARE COMPLEX "EVALUATION OF MANAGEMENT PROCESSES FROM THE IMPLEMENTATION OF THE ELECTRONIC DOCUMENT FLOW AND OFFICE MANAGEMENT SYSTEM" Perepelkina Olga Aleksandrovna, Kondratov Dmitry Vyacheslavovich.....	69
CONTINUOUS KEYSTROKE DYNAMICS USER IDENTIFICATION USING STATE CONTEXT REPRESENTATION Pashchenko Dmitriy Vladimirovich, Balzannikova Elena Alekseevna.....	74
APPROACHES TO ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF NEW ENGINEERING DESIGNS Bozhuk Nicolay Mihaylovich, Kaverzneva Tatyana Timofeevna, Skripnik Igor Leonidovich, Ksenofontov Yuriy Gennadievich, Shcherbakova Irina Olegovna.....	80

FOOD TECHNOLOGY

USE OF WHEAT EMERGENCY FLOUR IN PRODUCTION OF BREAD FROM MIXTURE OF RYE AND WHEAT FLOUR Lesnikova Natalia Aleksandrovna, Kotova Tatyana Vyacheslavovna.....	86
ABOUT DISPERSION OF LIQUID MEDIA Avrorov Valery Altksandrovich, Murashkina Oksana Aleksandrovna, Sarafankina Elena Aleksandrovna.....	91
THE IMPACT OF TECHNOLOGY PRESERVATION OF APPLES IN THEIR KEEPING QUALITY Timakova Roza Temer'janovna.....	97
STUDY OF THE AMINO ACID COMPOSITION OF THE SEMI-SKIMMED CORN GERM Chernova Elena Viktorovna, Bazhenova Irina Anatolyevna, Kaplin Ilya Denisovich, Matveeva Yuliya Aniktorievna.....	103
INFLUENCE OF RAW MATERIALS ON THE QUALITY AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PLANT-BASED DRINKS Nilova Liudmila Pavlovna, Malyutenkova Svetlana Michailovna.....	107
ADSORPTIVE DECOLORIZATION OF AQUEOUS MELANOIDIN SOLUTIONS USING SYNTHETIC CARBON-SATURATED SORBENT Cherepanov Igor Sergeevich, Abdullina Gulyamza Minnullovna.....	112
USING THE HPLC-MS/MS METHOD TO DETERMINE THE RESIDUAL AMOUNT OF NITROFURAN METABOLITES IN MEAT PRODUCTS Chaplygina Olga Sergeevna, Podlegaeva Tatiana Victorovna, Ostroumov Lev Aleksandrovich, Golubtsova Yulia Vladimirovna.....	116
DETERMINATION OF STRESSES IN THE ROTOR OF A HIGH-SPEED DISPERSER FOR INHOMOGENEOUS LIQUID DISPERSED SYSTEMS Avrorov Valery Aleksandrovich, Murashkina Oksana Aleksandrovna, Sarafankina Elena Aleksandrovna.....	121
HUMAN ACTIVITY SAFERY	
ANALYSIS OF WATER PREPARATION TECHNOLOGY WITH A CORROSION INHIBITOR Fayustova Yulya Anatolyevna, Krasnaya Elena Gennadyevna.....	124
IMPROVEMENT OF PROPERTIES OF COMPOSITE SOLUTIONS WHEN USING 3D-NYC-NANOCRYSTALLINE MODIFIER Panfilova Marina Ivanovna, Zubrev Nikolay Ivanovich, Leonova Danuta Ambrogiana Irina Sergeevna Panfilova, Petrov Gleb Alexandrovich.....	128
MAINTENANCE STAFF FATIGUE MANAGEMENT METHODOLOGY Ruslan Valerievich Enikeev, Alexandra Leonidovna Rybalkina.....	132
TECHNOLOGIES FOR PERSONAL INFORMATION OF AIRCRAFT PASSENGERS ABOUT POTENTIAL HAZARD OF EMERGENCY SITUATION IN HIGH-LEVEL FLIGHT Markov Nikolay Alexandrovich.....	138
EVALUATION OF ECOTOXICITY OF PRODUCTS OF EXPLOSION OF INDUSTRIAL EXPLOSIVES Garmashov Alexey Sergeevich, Akinin Nikolai Ivanovich, Denis Igolevich Mikheev.....	143

THE ANALYSIS OF WATER TREATMENT TECHNOLOGIES IN ENSURING THE LIFE SAFETY Fayustova Yulya Anatolyevna, Krasnaya Elena Gennadyevna.....	147
MODEL FOR ESTIMATING ENERGY LOAD BASED ON INTERNATIONAL EXPERIENCE IN RATING EMF Kuznetsov Konstantin Borisovich, Zakirova Alfiya Rezavanovna.....	152
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS FOR ASSESSING THE THERMAL STATE OF CIVIL CONSTRUCTION FACILITIES ON THE EXAMPLE OF MARINE STATIONARY PLATFORMS Ivan Viktorovich Starokon.....	156
ASSESSMENT OF EMERGENCY RISKS TAKING INTO ACCOUNT EUROPEAN UNION DIRECTIVES FOR INDUSTRIES INDUSTRY Frolova Nina Anatolievna.....	161
COMPOSITE SOLUTIONS WITH ADDITIVES OF MICROCELLULOSE Panfilova Marina Ivanovna, Zubrev Nikolay Ivanovich, Leonova Danuta Ambrogiana Zhuravleva Margarita Anatolyevna, Andreeva Valeria Yuryevna.....	165
LEGAL FRAMEWORK FOR ENSURING THE SECURITY OF ORGANIZATIONS FOR THE PURPOSE OF COUNTERING TERRORISM Romanovsky Georgy Borisovich, Romanovsky Vladislav Georgievich.....	169
EVALUATION OF THE NOISINESS LINE FOR BOTTLING OF SPARKLING WINES Balinskaya Maria Vladimirovna.....	174
LABOR PROTECTION OF MEMBERS OF LOCOMOTIVE CREWS, TAKING INTO ACCOUNT THE INCREASING LABOR INTENSITY Struchalin Vladimir Gajozovich, Narusova Elena Yurievna, Navcanya Vladimir Yur'evich.....	179
RESEARCH OF THE INFLUENCE OF EQUIPMENT FOR PERSONAL HEARING PROTECTION ON THE TRUCKS REVERSE SIGNALS PERCEPTION AND LOCALIZATION Dmitriev Mikhail Sergeevich, Khasanova Marina Leonidovna, Rudnev Valery Valentinovich.....	184
METHODOLOGY FOR BRIEFING FOR FLAW DETECTORS ENGINEERS INVOLVED IN INDUSTRIAL SAFETY EXPERTISE AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES Krekova Irina Sergeevna.....	188

УДК 004.9

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0001

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2020

Вайнилович Юлия Викторовна, старший преподаватель
кафедры «Автоматизированные системы управления»

Белорусско-Российский университет

(212030, Беларусь, г. Могилев, пр-т Мира, 43, e-mail: ylia.v@tut.by)

Аннотация. Статья посвящена разработке технологии комплексного повышения эффективности процессов управления ИТ-проектами. Актуальность решения задачи обусловлена возрастающим уровнем сложности ИТ-проектов, необходимостью учета специфики управления ИТ-проектами, отсутствием технологий комплексного повышения эффективности управления ИТ-проектами, обеспечивающих эффективное использование современных гибких методологий управления ИТ-проектами. В статье предлагается новая информационная технология повышения эффективности управления ИТ-проектами, основанная на применении алгоритмов эволюционного моделирования в сочетании с современными методиками оценки личностных и психологических качеств участников проектных команд, методами кластерного анализа для ранжирования кандидатов на участие в проектах с учетом комплексной оценки сочетания личностных и психологических качеств и профессиональных компетенций, методикой СОСОМО II для оценки трудоемкости и времени разработки ИТ-проекта, методом экспертных оценок для определения примерного количества строк программного кода, методом парных сравнений Т. Саати для определения уровня факторов масштаба и трудоемкости в методике СОСОМО II. Предложенная информационная технология обеспечивает комплексную автоматизацию следующих этапов реализации ИТ-проекта: формирование структуры и состава проектных команд, формирование состава проектных задач, распределение участников проектных команд на задачи, многоуровневый контроль качества решения задач. Апробация и внедрение разработанной технологии выполнено в ООО «Стэпл Инк».

Ключевые слова: эффективность процесса управления ИТ-проектами, эволюционное моделирование.

TECHNOLOGY FOR INTEGRATED IMPROVEMENT OF IT PROJECTS MANAGEMENT EFFICIENCY BASED ON EVOLUTIONARY MODELING

© 2020

Vajnilovich Julija Viktorovna, senior Lecturer of Department of Automated Control Systems

Inter-State Educational Institution of Higher Education «Belarusian-Russian University»

(212000, Mira Ave, 43, Mogilev, Republic of Belarus, E-mail: ylia.v@tut.by)

Abstract. The article is devoted to the development of the technology for integrated improvement of the efficiency of IT projects management processes. The relevance of solving the problem is due to the increasing level of complexity of IT projects, the need to take into account the specifics of IT projects management, and the lack of technologies for integrated improvement of the efficiency of IT projects management that ensure the effective use of up-to-date flexible methodologies for IT projects management. The article proposes a new information technology for improving the efficiency of IT projects management based on the use of evolutionary modeling algorithms in combination with such modern methods as methodologies for evaluating the personal and psychological qualities of project teams participants, cluster analysis methods for ranking candidates for participation in projects taking into account a comprehensive assessment of the combination of personal and psychological qualities and professional competencies, COCOMO II method for evaluating the labor intensity and time of IT project development, the method of expert estimates to determine the approximate number of lines of program code, T. Saati's paired comparisons method to determine the level of factors of scale and labor intensity in COCOMO II method. The proposed information technology provides integrated automation of the following stages of IT project implementation: formation of the structure and composition of project teams, formation of the composition of project tasks, allocation of project teams' participants to tasks, multilevel quality control of tasks solving. Testing and implementation of the developed technology was carried out in «Staple Inc» LLC.

Keywords: efficiency of the process of IT projects management, evolutionary modeling.

Введение. Созданию методов, средств и технологий в области теории управления ИТ-проектами посвящены научные работы отечественных и зарубежных ученых [1-5]. Существующие подходы обеспечивают решение задач планирования работ, подбора участников проектных команд [6-10]. При этом отсутствуют информационные технологии, обеспечивающие комплексную автоматизацию решения задач управления ИТ-проектами на всех этапах разработки программно-

го обеспечения в соответствии с современными методологиями [11].

В соответствии с ежегодным аналитическим отчетом специалистов компании *The Standish Group International* [12] около 70% всех ИТ-проектов завершаются с нарушением сроков, имеют существенные недоработки или не были завершены вообще. Ключевыми факторами успешного завершения ИТ-проектов являются: эффективное планирование проектных за-

дач, компетентный персонал, перераспределение задач между участниками на каждой итерации проекта с учетом изменения требований заказчика. Невысокий процент успешно выполненных ИТ-проектов обуславливает актуальность задачи повышения эффективного управления ИТ-проектами и создания новых информационных технологий, обеспечивающих автоматизацию решения данной задачи.

Целью данной работы является разработка новой информационной технологии повышения эффективности управления ИТ-проектами на основе эволюци-

онного моделирования.

Материалы и результаты исследований. Повышение эффективности за счет применения новых подходов к решению задач управления ИТ-проектами осуществляется на следующих этапах реализации проекта: формирование проектных команд, распределение участников проектных команд на задачи, многоуровневый контроль качества решения задач. Состав задач каждого этапа, обеспечивающих повышение эффективности управления ИТ-проектами, представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав задач, обеспечивающих повышение эффективности управления ИТ-проектами

№ этапа (шага)	Цель	Задачи организации процесса	Задачи управления	Результат
Этап 1 Повышение эффективности управления формированием проектных команд				
Шаг 1.1	Комплексная оценка личностно-психологических качеств (ЛПК) участников проекта	1) Организация прохождения комплекса психологических тестов 2) Оценка результатов прохождения тестов	Предварительная обработка информации о результатах анализа ЛПК для разделения участников проекта на группы	Повышение эффективности управления проектами за счет сокращения количества конфликтных ситуаций при реализации проектов
Шаг 1.2	Комплексная оценка результатов решения задач каждым участником команды проекта	Обработка информации о результатах многоуровневого контроля качества решения проектных задач	Поддержка принятия решений (ППР) по разделению участников проектов на группы по результатам обработки информации о результатах решения проектных задач	Повышение мотивации участников проекта, позволяющее сократить сроки решения проектных задач за счет повышения производительности труда
Шаг 1.3	Ускорение работы алгоритмов эволюционного моделирования в процессе синтеза структуры и состава проектных команд	1) Разделение участников проекта на группы с использованием кластерного анализа на основе комплексной обработки информации о ЛПК 2) Применение метода Т.Саати для ранжирования проектов по приоритету	Предварительная обработка информации для ППП по составу и структуре проектных команд	Повышение эффективности работы алгоритмов эволюционного моделирования за счет сокращения объема обработки информации при формировании проектных команд
Шаг 1.4	Формирование рациональной структуры и состава проектных команд	Применение эволюционного моделирования для синтеза структуры и состава проектной команды	1) Синтез состава и структуры проектных команд на основе результатов шагов 1.1 и 1.2;	Сокращение времени решения проектных задач за счет подбора рационального состава и структуры проектных команд
Этап 2 Повышение эффективности управления распределением участников проектных команд на задачи				
Шаг 2.1	Формирование рационального состава проектных задач	1) Декомпозиция задачи проекта на подзадачи на основе методологии SADT 2) Расчет трудоемкости проекта на основе методики СОСОМОИ.	Синтез состава и структуры проектных задач	Сокращение трудоемкости проекта
Шаг 2.2	Формирование рационального распределения участников проектной команды между задачами проекта	3) Рациональное распределение задач проектов между участниками проектных команд на основе эволюционного моделирования.	Оценка распределения участников проектных команд ЛПП, с учетом результатов расчета трудоемкости проекта	
Этап 3 Повышение эффективности многоуровневого контроля качества решения проектных задач				
Шаг 3.1	Повышение качества решений проектных задач	Построение многоуровневой системы контроля качества готовых решений	Оценка результатов контроля качества решения проектных задач для ППП по структуре и составу участников проектных команд, распределению участников проектов на задачи	Повышение эффективности решения проектных задач за счет сокращения количества ошибок в программных решениях, более раннего выявления ошибок в решении проектных задач

Для решения задач формирования проектных команд и распределения участников проектных команд на задачи при управлении ИТ-проектами проекта разработан программный комплекс [13], обеспечивающий автоматизацию решения задач, представленных в таблице 1.

Разработанный программный комплекс многоуровневого управления ИТ-проектами включает следующие модули:

Модуль обработки результатов тестирования обеспечивает автоматизацию классификацию претендентов на участие в проектах на четыре кластера на основе результатов тестирования методом кластерного анализа k -средних. Количество кластеров выбрано по

количеству групп командных ролей – лидерование, деятельность, мышление, социализация. Результаты психологического тестирования участников проектов загружаются из внешнего модуля психологических тестов. Модуль формирования структуры проектных команд позволяет руководителю проектов формировать и изменять в ходе выполнения проекта структуру проектных команд. Модуль обработки результатов многоуровневого контроля качества решения проектных задач автоматизирует оценку уровня владения технологиями и инструментами участниками проектов на основании данных о качестве решения задач законченных проектов каждым участником. Данные, полученные в результате работы рассмотренных мо-

дулей, являются входными параметрами для модуля формирования состава проектных команд. Модуль формирования состава проектных команд решает задачу формирования проектных команд на основе алгоритмов эволюционного моделирования с учетом информации о ЛПК, уровне владения технологиями и инструментами участниками проектов. Модуль формирования состава и структуры задач проектов предоставляет средства для декомпозиции задач проекта на подзадачи с использованием методологии *IDEF0*. Модуль распределения участников проектных команд на задачи осуществляет распределение участников про-

ектных команд на задачи с использованием алгоритмов эволюционного моделирования. Модуль расчета трудоемкости проектов осуществляет расчет по методике *COCOMO II* [14] в сочетании с методом парных сравнений Т. Саати [15] и методом экспертных оценок [16]. Модуль обработки результатов многоуровневого контроля решения проектных задач обеспечивает сбор данных о качестве решения задач участниками проектов.

Технология управления ИТ-проектами с использованием разработанного программного комплекса представлена на рисунке 1.

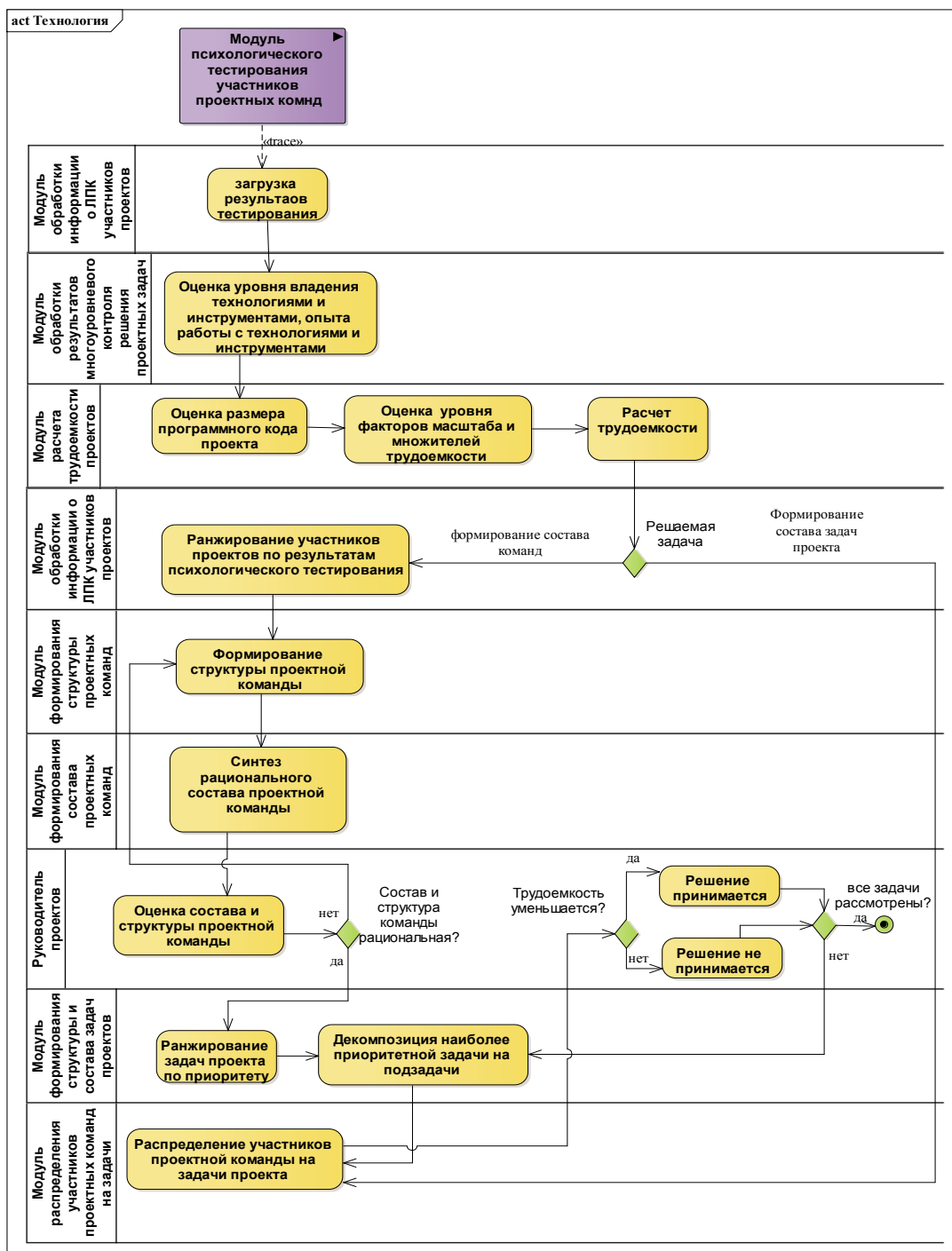


Рисунок 1 – Структурная схема технологии повышения эффективности управления ИТ-проектами

Технологические этапы формирования проектных команд.

Эман 1. Оценка личностных и психологических качеств участников проектных команд на основе результатов психологических тестов. Данные о результатах психологических тестов загружаются в программный комплекс из программы, реализующей прохождение и обработку результатов тестов М. Белбина [17] К. Томаса [18]. По результатам теста М. Белбина осуществляется ранжирование ролей участников проектных команд в зависимости от их личностных и психологических качеств. На основе теста К. Томаса определяется выраженность форм поведения участников проектов в конфликтных ситуациях.

Эман 2. Комплексная обработка информации о результатах решения проектных задач участниками проектных команд. Оценка уровня владения технологиями и инструментами, опыта работы с технологиями и инструментами осуществляется на основании результатов участия в предыдущих проектах по результатам оценки качества решения проектных задач. Для этого используется модуль обработки результатов многоуровневого контроля решения проектных задач. Исходные данные для оценки уровня владения технологиями и инструментами участниками проектных команд поступают в модуль в процессе выполнения проектов.

Эман 3. Предварительная оценка трудоемкости и длительности проекта по методике *COCOMO II* в модуле формирования проектных команд.

Шаг 3.1. Оценка размера программного кода проекта. Размер программного кода определяется методом экспертных оценок. В качестве экспертов выступают представители заказчика и разработчика. Эксперты дают оптимистическую, пессимистическую и реалистическую оценки количества строк исходного кода. Программный модуль рассчитывает среднюю оценку по бета-распределению [19]. Выходными данными являются количество строк программного кода.

Шаг 3.2. Оценка уровня факторов масштаба (гибкость процесса разработки, архитектура и разрешение рисков, зрелость процессов) и множителей трудоемкости (сложность и надежность продукта, разработка для повторного использования, сложность платформы разработки, оборудование) с использованием метода парных сравнений Т. Саати. Выходными данными этапа является оценка уровня сложности по семибальной шкале в соответствии с методикой *COCOMO II*.

Шаг 3.3. Расчет предварительной трудоемкости проекта по методике *COCOMO II*.

Эман 4. Предварительная обработка информации для формирования состава и структуры проектной команды в модуле обработки результатов тестирования и в модуле обработки результатов многоуровневого контроля качества решения проектных задач.

Эман 4.1. Ранжирование участников проектов по результатам психологического тестирования.

Эман 4.2. Формирование структуры проектной команды руководителем проектов. Кандидаты на участие в проекте отбираются из числа зарегистрирован-

ных в системе, не занятых в проектах работников.

Эман 5. Синтез рационального состава и структуры проектной команды на основе алгоритмов эволюционного моделирования [20] в модуле формирования состава проектных команд.

Шаг 5.1. Первоначальное создание проектных команд. Задается максимальное количество проектных команд, существующих одновременно $population_{max}$, число шагов N_{step} , номер итерации $i=1$, количество команд, формируемых на первом шаге m . Функция приспособленности для каждой команды рассчитывается по формуле:

$$PM_{it_{pr}} = \sum_{k=1}^N (PM_k^{\beta} \cdot \prod_{i=1}^6 EM_i) \rightarrow \min$$

где $PM_{it_{pr}}$ – трудоемкость проекта,

EM_i – множители трудоемкости,

PM_k^{β} – трудоемкость задачи проекта в чел. мес.

Шаг 5.2. Селекция проектных команд. Используется селективный отбор, при котором следует выбирать только те команды, значения функции приспособленности которых не больше пороговой величины – среднего значения приспособленности по всем командам:

$$PM_{it_{pr}}^k \leq \frac{\sum_{k=1}^m PM_{it_{pr}}^k}{m}$$

Шаг 5.3. Скрещивание при формировании проектных команд. Для формирования новых команд используется метод одноточечного кроссинговера.

Шаг 5.4. Мутация при формировании проектных команд. Мутация в рамках решаемой задачи заключается в удалении случайным образом выбранного участника команды и присоединении случайно выбранного нового участника из числа возможных.

Шаг 5.5. Сокращение промежуточного количества проектных команд путем применения стратегии элитарного отбора.

Шаг 5.6. Окончание работы алгоритма эволюционного моделирования. В качестве решения задачи выбирается проектная команда с наилучшим значением функции приспособленности.

Результатом этапа 5 является состав участников проектной команды, трудоемкость и длительность выполнения проекта.

Технологические этапы формирования рациональной структуры и состава проектных задач и распределения участников проектных команд на задачи. Все перечисленные ниже этапы автоматизированы в модуле формирования структуры и состава задач проектов.

Эман 1. Ранжирование задач проекта по приоритету. Заказчик формирует перечень задач, упорядоченный по приоритету.

Эман 2. Декомпозиция наиболее приоритетной задачи на подзадачи на основе методологии *SADT*.

Эман 3. Распределение участников проектной команды на задачи проекта с применением алгоритмов

эволюционного моделирования

Шаг 3.1. Методом экспертных оценок оценивается количество строк программного кода каждой задачи.

Шаг 3.2. На основе метода парных сравнений Т. Саати оценивается сложность каждой задачи.

Шаг 3.3. Распределение участников проектной команды на задачи проекта с применением алгоритма эволюционного моделирования:

3.3.1. Первоначальное распределение исполнителей на задачи. Задается максимальное количество вариантов распределения, существующих одновременно $population_{max}$, число шагов N_{step} , номер итерации $i=1$, количество вариантов распределения.

3.3.2. Селекция в процессе распределения задач между участниками ИТ-проекта. Используется селективный отбор, при котором следует выбирать только те варианты распределения, значение функции приспособленности которых не больше пороговой величины – среднего значения приспособленности по всем вариантам:

$$PM_{it,pr}^k \leq \frac{\sum_{k=1}^m PM_{it,pr}^k}{m}$$

3.3.3. Скрещивание в процессе распределения задач между участниками ИТ-проекта. Для получения нового варианта распределения используется однородный кроссинговер.

3.3.4. Мутация в процессе распределения задач между участниками ИТ-проекта. Выполняется перестановка местами двух исполнителей в вариантах распределения участников проектных команд на задачи.

3.3.5. Сокращение промежуточной популяции вариантов распределения. Применяется стратегия элитарного отбора.

Лицом, принимающим решение, оценивается целесообразность проведенной декомпозиции.

Этапы 2-3 повторяются, пока не выполнится условие прекращения дальнейшей декомпозиции.

Результатом этапа 3 является структура и состав задач проекта и распределение задач между участниками проектных команд.

Апробация результатов исследований. Апробация разработанной технологии выполнялась в ООО «Стэйпл Инк» (г.Минск, Республика Беларусь). Для расчета был выбран ИТ-проект, при реализации которого участники проектных команд должны были иметь опыт использования пяти технологий промышленного программирования. Для реализации проекта были отобраны 15 претендентов.

Расчетная трудоемкость и длительность проекта для проектной команды из пяти человек, сформированной руководителем проекта составила 46,73 чел./мес.

Расчетная трудоемкость и длительность проекта для трех команд, сформированных на шаге 5.1 алгоритмом эволюционного моделирования составили

$$\begin{aligned} PM_{team1} &= 33,34; TDEV_{team1} = 0,111, \\ PM_{team2} &= 40,65; TDEV_{team2} = 0,118, \\ PM_{team3} &= 33,74; TDEV_{team3} = 0,111. \end{aligned}$$

После трех итераций селекции, скрещивания и мутации были сформированы новые составы проектных команд, для которых трудоемкость и длительность проекта составили соответственно:

$$\begin{aligned} PM_{team1} &= 32,63; TDEV_{team1} = 0,109, \\ PM_{team2} &= 32,63; TDEV_{team2} = 0,109 \\ PM_{team3} &= 33,74; TDEV_{team3} = 0,111. \end{aligned}$$

На следующем этапе выполнялось назначение исполнителей на задачи. На первой итерации выполнения проекта необходимо было назначить исполнителей на три задачи, которые должны быть завершены до начала выполнения последующих задач. Расчетная трудоемкость и длительность решения задач при назначении исполнителей на задачи руководителем проекта составила 15,95 чел./мес.

Расчетная трудоемкость и длительность решения задач для каждого варианта назначения исполнителей на шаге 3.3.1 алгоритма эволюционного моделирования составила соответственно:

$$\begin{aligned} PM_{selectTeam1} &= 11,52; TDEV_{selectTeam1} = 0,079, \\ PM_{selectTeam2} &= 7,44; TDEV_{selectTeam2} = 0,069, \\ PM_{selectTeam3} &= 8,74; TDEV_{selectTeam3} = 0,072. \end{aligned}$$

После трех итераций селекции, скрещивания и мутации задачи были перераспределены между исполнителями которых трудоемкость и длительность проекта составили соответственно:

$$\begin{aligned} PM_{selectTeam1} &= 7,44; TDEV_{selectTeam1} = 0,069, \\ PM_{selectTeam2} &= 8,74; TDEV_{selectTeam2} = 0,072, \\ PM_{selectTeam3} &= 9,80; TDEV_{selectTeam3} = 0,075. \end{aligned}$$

Соответственно, применение эволюционного моделирования при формировании проектных команд и распределении проектных задач между участниками позволило уменьшить расчетную трудоемкость ИТ-проекта на 30%.

Заключение. В статье представлена новая технология комплексного повышения эффективности управления ИТ-проектами на основе эволюционного моделирования. Предложенная технология обеспечивает повышение эффективности за счет автоматизации следующие этапов реализации ИТ-проекта: формирование структуры и состава проектных команд, формирование состава проектных задач, распределение участников проектных команд на задачи, многоуровневый контроль качества решения задач.

Внедрение разработанной технологии для управления ИТ-проектами в ООО «Стэйпл Инк» (г.Минск, Республика Беларусь) позволило снизить трудоемкость выполнения проекта на 20-30% за счет повышения эффективности управления ИТ-проектами на основе эволюционного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Бурков В.Н., Коргин Н. А., Новиков Д. А. Как управлять проектами. М. : Либроком, 2009. 264 с.
- Бурков В.Н., Новиков Д. А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М. : Синтег, 1999. 128 с.
- ДеМарко Том, Листер Тимоти. Человеческий фактор:

успешные проекты и команды. Издательство: Символ-Плюс, 2005 г. – 256 стр.

4. Ройс У. Управление проектами по созданию программного обеспечения. Унифицированный подход. М.: Лори, 2002. – 434 с.

5. Томсетт Р. Радикальное управление ИТ-проектами. Лори, 2005 г. 294 стр.

6. Баркалов С.А., Воропаев В.И., Секлетова Г.И. и др. Математические основы управления проектами: учеб. пособие / под ред. В.Н. Буркова. М.: Высшая школа, 2005.

7. Антонова, А. С. Применение мультиагентного и эволюционного моделирования при планировании работ / А. С. Антонова, К. А. Аксенов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 126–136.

8. Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации. – «Автоматика и телемеханика», журнал. 2009. №10. С. 15-21.

9. Захарченков, К.В. Методика многоуровневого управления учебными ИТ-проектами / К.В. Захарченков, Ю.В. Вайнилович // Энергетика, информатика, инновации – 2018 (инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями, экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта и общественных наук): сб. трудов VIII междунар. науч.-техн. конф. Смоленск: «Универсум», 2018. Т 3. С. 18–21.

10. Борисов, В.В. Метод управления процессом обучения промышленному программированию на основе алгоритмов роевого интеллекта / В.В. Борисов, С.П. Янукович, К.В. Захарченков, Ю.В. Вайнилович // CloudOfScience, 2020. – Т.7. №1. – С.189–206.

11. Кон М. Agile: оценка и планирование проектов. – М.: ООО «Альпина Диджитал», 2018. – 460 с.

12. The CHAOS Manifesto. The Standish Group International, 2014. 16 p.

13. Вайнилович, Ю.В. Программный комплекс многоуровневого управления ИТ-проектами / Ю. В. Вайнилович, К. В. Захарченков // Инновации, 2019. – № 8(250). – С. 88–96.

14. Boehm V., et al. «Software cost estimation with COSOMO II». Englewood Cliffs, NJ: Prentice–Hall, 2000.

15. Саати, Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях : аналитические сети. М.: URSS : ЛКИ, 2008. – 357 с

16. Гуцыкова, С.В. Метод экспертных оценок. Теория и практика / С.В. Гуцыкова. - М.: Институт психологии РАН, 2012. - 144 с.

17. Белбин Р.М. Команды менеджеров. М. : НIPPO, 2003. - 315 с.

18. Гришина Н.В. Психология конфликта. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2008. — 544 с:

19. Королук В.С., Турбин А.Ф., Портенко Н.И., Скороход А.В., Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука, 1985. 640 с

20. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. — М: ДМК Пресс, 2020. 940 с.

Статья поступила в редакцию 28.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 004.93'1

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0002

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

© 2020

Пашенко Татьяна Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры «Менеджмент и экономическая безопасность»

Пензенский государственный университет

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

Мартышкин Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Вычислительные машины и системы»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)

Аннотация. Статья посвящена исследованиям проблемы планирования движения мобильного робота с системой технического зрения. Планирование движения мобильным роботом при наличии на карте местности препятствий является проблемой при построении роботов, пригодных для работы в реальных условиях. Существующие сегодня решения обладают частным характером, что не позволяет говорить об успешности решения задачи эффективного планирования движения. Цель настоящей статьи: разработка и исследование алгоритма планирования движения мобильного робота с системой технического зрения. Объектом исследования статьи является алгоритм планирования движения мобильного робота с системой технического зрения. В работе произведен обзор отечественных и зарубежных мобильных роботов, решающих задачу планирования движения на известной карте местности с неизвестными препятствиями. Рассмотрены методы навигации мобильных роботов: локальная, глобальная, персональная. В ходе проведенных работ и исследований был построен прототип мобильного робота, способный распознавать препятствия правильной геометрической формы, планировать и корректировать маршрут движения. Определение объекта окружающей среды и классификация его как препятствия осуществляются на основе методов и алгоритмов обработки цифровых изображений. Определение расстояния и угла до препятствия вычисляются методами фотограмметрии, улучшение качества изображения методом линейного контрастирования и оптимальной линейной фильтрации с применением уравнения Винера-Хопфа. Для тестирования прототипа был произведен обзор средств виртуального тестирования алгоритмов движения мобильного робота, на основании которого выбран программный комплекс Webots. В заключении сделаны выводы о проведенных исследованиях.

Ключевые слова: мобильный робот, техническое зрение, алгоритм планирования, прототип, робототехника, теория принятия решения.

INVESTIGATION OF AN ALGORITHM FOR A MOBILE ROBOT WITH A MACHINE VISION SYSTEM

© 2020

Pashchenko Tatyana Yuryevna, candidate of economic Sciences,
associate Professor of sub-department «Management and economic security»

Penza State University

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

Martyszhkin 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-mail: alexey314@yandex.ru)

Abstract. This study is devoted to the challenges of motion planning for mobile robots with machine vision systems. Motion planning for mobile robots in the environment with obstacles is a problem to deal with when creating robots suitable for operation in real-world conditions. The solutions found today are predominantly private, and are highly specialized, which prevents judging of how successful they are in solving the problem of effective motion planning. Solutions with a narrow application field already exist and are being already developed for a long time, however, no major breakthrough has been observed yet. Only a systematic improvement in the characteristics of such systems can be noted. The purpose of this study: develop and investigate a motion planning algorithm for a mobile robot with a machine vision system. The research subject for this article is a motion planning algorithm for a mobile robot with a machine vision system. This study provides a review of domestic and foreign mobile robots that solve the motion planning problem in a known environment with unknown obstacles. The following navigation methods are considered for mobile robots: local, global, individual. In the course of work and research, a mobile robot prototype has been built, capable of recognizing obstacles of regular geometric shapes, as well as plan and correct the movement path. Environment objects are identified and classified as obstacles by means of digital image processing methods and algorithms. Distance to the obstacle and relative angle are calculated by photogrammetry methods, image quality is improved by linear contrast

enhancement and optimal linear filtering using the Wiener-Hopf equation. Virtual tools, related to mobile robot motion algorithm testing, have been reviewed, which led us to selecting Webots software package for prototype testing. Testing results allowed us to make the following conclusions. The mobile robot has successfully identified the obstacle, planned a path in accordance with the obstacle avoidance algorithm, and continued moving to the destination. Conclusions have been drawn regarding the concluded research.

Keywords: mobile robot, machine vision, planning algorithm, prototype, robotics, decision theory.

Введение. Планирование движением мобильного робота (МР) при наличии препятствий является довольно актуальной проблемой при построении МР, пригодных для работы в реальных условиях. На сегодняшний день, существующие решения обладают преимущественно частным, узкоспециализированным характером, что не позволяет говорить об успешности решения задачи эффективного планирования движения. Решения, направленные на задачи узкого спектра, начали развиваться уже давно, но тем не менее большого прорыва в этом направлении не наблюдается. Отмечается только планомерное улучшение характеристических показателей таких систем.

Настоящая статья в целом носит исследовательский характер. В ходе изучения предметной области были проанализированы литературные источники [1 – 3], [4, 5] и [6 – 8] с целью поиска незатронутых и нерешенных проблем. Некоторые вопросы, связанные с алгоритмами планирования движения МР с системой технического зрения, не нашли должного отражения в публикациях, однако частично проблемные вопросы были рассмотрены в [9 – 11].

Главной функцией автономного МР является навигация (планирование движения в реальном пространстве). Применяемые сегодня решения бытовых многофункциональных роботов стоят дорого, что не позволяет использовать их массово. **Целью** настоящей статьи является разработка и исследование алгоритма планирования движения МР с системой технического зрения. Для решения этой проблемы в данной работе спроектирован прототип простого МР под управлением мобильного устройства (МУ), благодаря быстрому развитию производственной линейки которых, производители стремятся оснащать МУ простыми, но современными датчиками, которые можно запрограммировать, благодаря наличию открытых операционных систем. Таким образом МУ включает в себя несколько важных подсистем МР: подсистема сбора данных об окружающей среде; подсистема анализа данных об окружающей среде; подсистема планирования движения.

Такое сочетание возможностей в МУ упрощает задачу построения доступного широкому кругу пользователей МР, который состоит всего лишь из двух агрегатов: МУ и исполнительная часть системы. В качестве исполнительной части системы может использоваться любая колесная платформа, содержащая элемент питания, систему привода платформы в движение, а также контроллер с приемопередатчиком, координирующий исполнительную часть системы и принимающий сигналы управления. Данные вопросы сегодня актуальны ввиду активного внедрения в

сферы и отрасли народного хозяйства различных конструкторских решений для мобильных роботов.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие частные задачи:

1. Провести обзор существующих решений в мировой и отечественной практике мобильного роботостроения, а также обзор мобильных систем планирования движения мобильным роботом.

2. Синтезировать прототип системы планирования движения мобильным роботом с системой технического зрения, а также выполнить тестирование прототипа.

3. Сделать выводы по полученным результатам

Материалы исследования. Исходные данные и материалы для проведения исследования: трехколесная платформа *lego mindstorms NXT* с двумя сервоприводами, мобильное устройство под управлением ОС *Android*, оснащенное гироскопом, акселерометром, цифровой видеокамерой и *Bluetooth* адаптером.

В настоящей статье рассматриваются МР, относящиеся к группам бытового и специального назначения [12]. В ходе исследования решения задач планирования движения, было установлено, что навигация МР является ключевым методом, поэтому, учитывая широкий спектр применения решений задач навигаций, выделены три вида навигации:

1) глобальная – представляет координаты движущегося объекта в выбранной системе координат, как правило, абсолютной;

2) локальная – представляет координаты движущегося объекта в локальной системе координат, привязанной к выбранной стартовой позиции маршрута. Широко используется при проектировании беспилотных авиационных летательных аппаратов;

3) персональная – представляет координаты узлов и агрегатов робота относительно базового, либо относительно объектов, находящихся в рабочей зоне робота [13].

Учитывая особенность навигации разно габаритных МР, отмечается зависимость между габаритами и видом навигации, используемой роботом. Так, крупногабаритные роботы ориентируются, используя методы глобальной навигации, а мелкогабаритные – персональной. Существуют также варианты применения нескольких видов навигации на одном роботе. Такая комбинация методов повышает точность позиционирования робота как объекта. При более детальном изучении каждого метода навигации наблюдаются общие черты, которые можно выделить в отдельный признак, включающий в себя пассивную, постоянно находящуюся в режиме приема информации, как о собственных координатах, так и о количественных характеристиках

движения от внешних систем, и активную, определяющую местоположение посредством анализа информации от датчиков, расположенных на МР и принятия решения о дальнейших направлении и скорости движения для выполнения поставленной задачи, системы навигации. Активную систему навигации постоянно используют роботы, использующие персональные схемы навигации, и наполовину – локальные. Из этого следует вывод, что МР, использующие локальные схемы навигации, выполняют более широкий спектр задач.

Первые модели промышленных роботов, созданные в 1960-е годы, передвигались по маршруту, жестко заданному с помощью электрических кабелей, проложенных под полом заводских сооружений [12]. С появлением и внедрением первых систем машинного зрения удалось отказаться от кабелей и перейти к навигации по ярко нарисованным линиям на полу [14].

Из большого количества известных робототехнических платформ для исследований движения МР можно выделить ряд наиболее интересных проектов, таких как *Lego mindstorms*, *iRobot*, *Thymio*. Сегодня все больший интерес вызывают МУ под управлением ОС *Android*. Развивающимися зарубежными проектами в бытовом сегменте автономных МР на сегодняшний день являются *Cellbots*, *IOIO*, *Meet ROMO*, *Wheelphone*, *Botiful*. Отечественные аналоги МР под управлением мобильных устройств с ОС *Android* на сегодняшний день практически отсутствуют. Общая функциональная схема МР под управлением МУ включает в себя непосредственно МУ, одноплатный компьютер, привод, датчики и колесную платформу. Одноплатный компьютер посредством цифровых сигналов управляет сервоприводами, установленными на колесной платформе. Датчики определяют обратную связь, необходимую для контроля движения. МУ является в этой системе высокоуровневым устройством управления и в ряде случаев может исполнять роль одноплатного компьютера и датчиков, тем самым функциональная схема устройства оптимизируется (из нее уберутся соответственно блоки «Одноплатный компьютер» и «Датчики»).

Результаты исследования. При разработке системы планирования движения МР большое внимание уделяется построению системы управления, алгоритмам распознавания препятствия, а также алгоритмам объезда препятствия. Поэтому, в качестве колесной базы и приводов было выбрано стандартное решение от *LEGO*, а именно, платформа *NXT*, которая позволяет контролировать до трех серводвигателей и предоставляет простые в использовании датчики, позволяющие строить МР любой модификации. Наличие *Bluetooth* приемопередатчика позволяет обеспечивать беспроводную связь с МР, что значительно упрощает конструкцию. Основной концепцией построения МР для решения задачи планирования движения является разделение устройства на 2 слоя: низкоуровневый и высокоуровневый. Низкоуровневый слой, реализуемый *Lego NXT*, позволяет контролировать датчики и

исполнительные механизмы, входящие в стандартный комплект [15]. Высокоуровневый слой обеспечивает вычисление управляющих сигналов при планировании сложного поведения системы.

В качестве МУ, встраиваемого в МР, выбран телефон, производства компании *Samsung*, модели *Galaxy S4*. Для упрощения конструкции при решении исследовательской задачи из стандартного компонента *Lego NXT* была собрана трехколесная платформа с двумя независимыми ведущими колесами, что для рассматриваемой исследовательской задачи вполне достаточно.

При построении математической модели МР с двумя электродвигателями постоянного тока, вращающими колеса робота, было пренебрежено влиянием инерционности третьего роляного колеса на динамику робота, а также, движение ведущих колес было принято без проскальзывания. Следовательно, с учетом пренебрежений, третье колесо представляется к расчетам как абсолютно гладкая опора в некоторой точке. На рисунке 1 изображена схема трехколесного МР, где *L*, *R* – левый и правый независимые двигатели соответственно, *N* – роляное колесо, ω_p , ω_2 – угловые скорости левого и правого колес, ω_p – угловая скорость вращения платформы относительно вертикальной оси. Сервоприводы платформы *Lego NXT L* и *R* приводят в движение ведущие колеса.

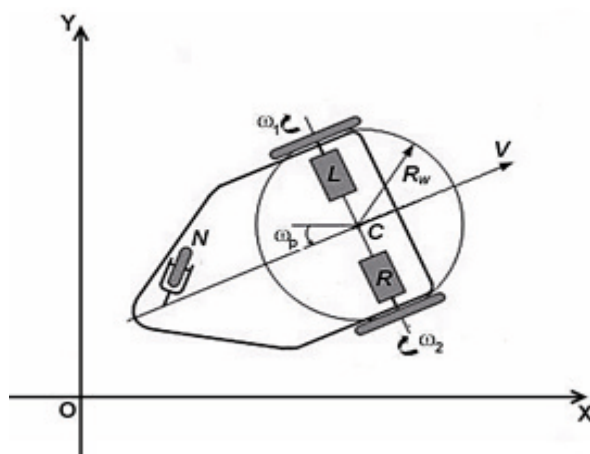


Рисунок 1 – Схема мобильного робота

В процессе вывода уравнений движения МР, оно будет описываться изменением положения точки C. Система координат, представленная на рисунке 1, является неподвижной и введена в систему для решения задачи локализации робота. При движении по реальной местности, абсцисса выбирается направлением востока, а ордината в направлении севера [16]. Скорость робота определяется согласно выражению:

$$V = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot r_k, \quad (1)$$

где ω_p , ω_2 – угловые скорости левого и правого ведущих колес; r_k – радиус колеса.

При поворотах МР и смещении курса движения, угловая скорость вращения становится отличной от нуля и принимает значение, описываемое через угловые скорости колес:

$$\omega_p = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot \frac{r_k}{R_\omega}, \quad (2)$$

где R_ω – половина ширины платформы, т.е. колесной базы.

Управляющий сигнал подается от контроллера *Lego NXT* на сервоприводы, следовательно, при известных значениях параметров передаточных функций сервоприводов по скорости WL и WR отношение угловых скоростей вращения колес к управляющим напряжениям посредством изображений Лапласа можно представить в виде следующих выражений:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= W_L(s)U_1(s), \\ \omega_2 &= W_R(s)U_2(s), \end{aligned} \quad (3)$$

где $U_1(s)$, $U_2(s)$ – изображения Лапласа для входных сигналов напряжения, подаваемых на левый и правый двигатели соответственно [16].

Объединив полученные ранее математические выражения в системы, получаем схему исполнительской части МР, показанную на рисунке 2.

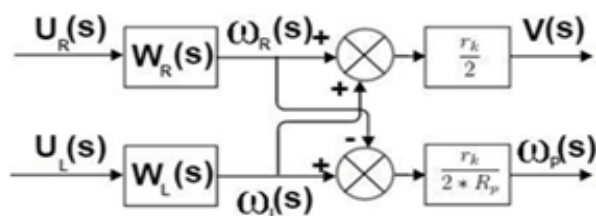


Рисунок 2 – Схема исполнительской части системы

Входные сигналы напряжения $U_1(s)$, $U_2(s)$, проходя через динамические звенья WL и WR , преобразуются в угловые скорости вращения колес ω_p , ω_2 и, проходя через пропорциональные звенья, преобразуются в выходные переменные $V(s)$ и $\omega_p(s)$.

Для написания приложения на стороне МУ использован прикладной программный интерфейс *Android 5.0* комплекта разработчика. ОС *Android* представляет компонентную модель процессов в системе [17]. Все подключаемые модули и библиотеки на этапе компиляции, перед запуском компилируются в *native C/C++* код. На стороне платформы *LegoNXT* на блоке управления установлена ОС *LejOS*.

Для создания системы технического зрения, базирующейся на МУ, предварительно был проведен обзор библиотек компьютерного зрения с открытым исходным кодом, что аргументировано такими критериями как безопасность, качество, реконфигурируемость, гибкость. На основании достоинств и недостатков библиотек и фреймворков библиотек компьютерного зрения *OpenCV* и *JavaCV* являются наиболее подходящими инструментами для распознавания препятствий на пути МР. Подключение библиотеки *OpenCV* к ОС позволяет использовать весь потенциал библиотеки в разработке приложений для мобильной ОС *Android* [18].

Алгоритм планирования движения мобильного робота. При управлении МР можно выделить три варианта системы управления движением:

1) распределенная система принятия решений.

Такая система подразумевает наличие сервера для тщательной обработки больших данных, для принятия более тщательного решения о выборе движения, скорости и ускорения робота;

2) реактивная система принятия решений. Такая система предполагает быстрое взаимодействие между исполнительской и управляющей частью робота;

3) гибридная система принятия решений. Такая система предполагает быстрое симбиоз двух предшествующих видов систем, т.е. скорость работы реактивной системы принятия решений и интеллект распределенной системы принятия решений.

При наличии в конструкции МР единственной камеры в качестве системы технического зрения, для определения направления движения робота, существуют три последовательные задачи: детектирование объекта окружающей среды как препятствие, кратковременное слежение за препятствием, для исключения внешних кратковременных возмущений (яркие вспышки (например, «солнечные зайчики»), проезд по неровностям, во время которого зона видимости робота теряет стабильность), передача зафиксированного кадра с препятствием в алгоритмический блок обработки изображения с последующим планированием движения МР [19].

Для распознавания и детектирования изображения необходимо также реализовать алгоритмы обработки цифрового изображения. Используемыми методами при обработке изображения для решения этой задачи являются:

- 1) фотограмметрия;
- 2) улучшение качества изображения;
- 3) фильтрация изображения.

Применение фотограмметрии в случае, если расстояние между видеокамерой и наблюдаемым объектом достаточно больше фокусного расстояния оптической системы, то изображение строится в ее фокальной плоскости [15]. Проекцию точки m можно представить в виде:

$$ZV=AM, \quad (4)$$

где $A = \begin{pmatrix} f/w & 0 & u_0 \\ 0 & f/h & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матрица внутренних параметров камеры;

M – трехмерный вектор точки M ;

v – вектор однородных координат камеры.

Для решения задачи улучшения качества изображения применяется метод линейного контрастирования [15]. Поэлементное преобразование выглядит, как:

$$y=ax+b, \quad (5)$$

где x , y – значения яркости изображения до и после обработки соответственно, a и b – параметры преобразования.

Система уравнений для минимальных и максимальных значений яркости выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} y_{\min} = ax_{\min} + b, \\ y_{\max} = ax_{\max} + b; \end{cases} \quad (6)$$

Ввиду того, что изображения, сформированные

различными информационными системами, искажаются действием помех, это затрудняет автоматическую обработку ЭВМ. Ослабление действия помех достигается фильтрацией, когда яркость каждой точки исходного изображения, искаженного помехой, заменяется другим значением яркости, которое признается в наименьшей степени искаженным помехой. Следовательно, основная идея фильтрации заключается в рациональном использовании данных как из рабочей точки, так и из ее окрестности [20]. В статье применяется оптимальная линейная фильтрация, основанная на уравнении Винера-Хопфа. Изображение на входе представлено как описывает выражение

$$y_{i,j} = f(x_{i,j}, n_{i,j}), \quad i = 0, \overline{I-1}, j = 0, \overline{J-1}, \quad (7)$$

где n – значение помехи в точке, $f(x, n)$ – функция взаимодействия сигнала и помехи, I и J – число строк и столбцов кадра изображения. При линейной фильтрации выходной эффект определяется линейной комбинацией входных данных

$$x^*(i, j) = \sum_{(i_1, j_1) \in S} a(i_1, j_1) y(i - i_1, j - j_1), \quad (8)$$

где x – результат фильтрации полезного сигнала в точке с координатами (i, j) , образующих окрестность; $a(i, j)$ – весовые коэффициенты.

Задача планирования движения МР заключается в поиске оптимального, свободного маршрута от стартовой точки до точки назначения в незнакомой среде, содержащей всевозможные препятствия. Планирование движения делится на 2 группы: планирование в статической и динамической окружающей среде. Под статической окружающей средой понимается среда, содержащая только статические объекты-препятствия, под динамической – динамические объекты-препятствия. Каждая из этих групп делится на подгруппы: управление в среде с известными картой и объектами, и неизвестными, определение которых необходимо выполнять в режиме реального времени.

Для каждого случая выделены наиболее подходящие методы определения маршрута и движения [13].

- 1) Планирование движения в известной статической среде с известными препятствиями.
- 2) Планирование пути в статической неизвестной окружающей среде.
- 3) Планирование пути в динамической известной среде.
- 4) Планирование пути в динамической неизвестной среде.

Планирование движения МР в неизвестной местности с наличием статических и динамических препятствий является самым сложным случаем, но в то же время и самым распространенным, с которым приходится сталкиваться МР. Самым эффективным методом в этом случае является метод потенциалов в задаче выбора полей, предложенный А.К. Платоновым в 1970 году [12]. Необходимым условием является высокая точность навигационной системы МР, его известные начальные и конечные координаты, направление сектора обзора в выбранной системе координат. МР в этой системе координат представляется как точка с

вектором ориентации. Суть метода заключается в следующем. Цель является положительно заряженной, а МР и препятствия – отрицательно. Под действием сил МР в качестве отрицательного заряда, будет притягиваться к целевому, положительному заряду и отталкиваться от препятствий в виде отрицательных зарядов. Важное значение этого метода заключается в том, что имеется возможность задания собственных законов движения различными способами. Следовательно, при введении в систему ограничений на неизвестную карту местности и законы движения МР, он достигнет цели.

Экспериментальное исследование разработанной системы планирования движения. Для проведения эксперимента с использованием виртуальных средств тестирования алгоритмов движения МР был проведен обзор существующих программных комплексов для моделирования таких систем. К преимуществам предварительного тестирования алгоритмов МР относятся:

- 1) решение проблемы ограниченности выбора технических средств. Виртуальные среды симуляции МР позволяют собрать робота из большинства актуальных и доступных в продаже узлов;
- 2) отсутствие возможности наблюдения за поведением робота в выбранной окружающей среде, чаще всего агрессивной.

Основными возможностями программных комплексов симуляции роботов являются:

- 1) параллельная и асинхронная обработка данных, поступающих с датчиков;
- 2) синхронное и асинхронное взаимодействие процессов управления различными подсистемами робота;
- 3) создание модели робота с учетом физических свойств, таких как масса, упругость, свойства материала, вращающие моменты;
- 4) тестирование алгоритмов управления;
- 5) создание настраиваемых, с учетом параметров 3D-сцен для моделирования;
- 6) возможность моделирования отдельных узлов МР, например, современных датчиков: лазерный дальномер, ультразвуковой и инфракрасный датчики, компас, двигатели и сервомоторы, GPS и т.д.

Был выбран простой программный комплекс *Webots*, для моделирования синтезированного в ходе написания статьи алгоритма. При тестировании прототипа МР в естественной среде использовались те же алгоритмы детектирования и объезда препятствия. На основании координат МР, с помощью математического пакета *MATLAB* построены графики, отображающие траекторию движения МР. На рисунке 3, а представлена траектория объезда одного препятствия на карте местности. На рисунке 3, б показана траектория объезда МР двух препятствий. На рисунке 3, в представлена траектория объезда МР нескольких препятствий на карте местности.

Результатом эксперимента, который обеспечивается при совместном использовании датчиков спроектированного МР и выполнением алгоритма объезда

препятствия, служит достижение МР указанной точки назначения без соприкосновения с препятствием.

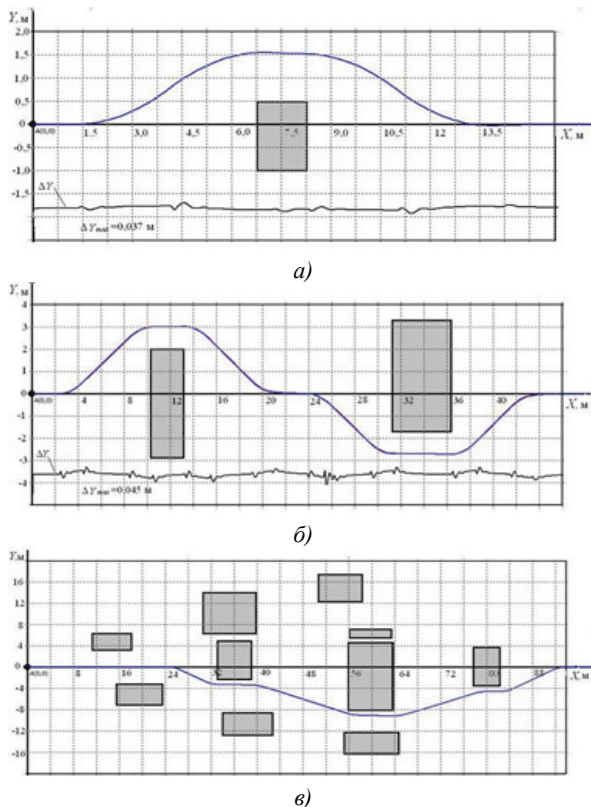


Рисунок 3 – Траектория движения при объезде одного препятствия (а), двух препятствий (б), нескольких препятствий (в)

Заключение. В статье проведен обзор отечественных и зарубежных МР, решающих задачу планирования движения на известной карте местности с неизвестными препятствиями. Рассмотрены такие методы навигации МР как локальная, глобальная, персональная. Выбрана элементная база в составе МУ, работающего под управлением ОС *Android* 5.0 и непосредственно исполнительской части устройства на базе трехколесной платформы с двумя ведущими сервоприводами и флюгерным колесом *Lego Mindstorms NXT*. На основании проведенных исследований предложен прототип МР, способный распознавать препятствия правильной геометрической формы, осуществлять планирование и корректировку, в случае необходимости, маршрута движения. Определение расстояния и угла до препятствия вычисляются методами фотограмметрии, улучшение качества изображения методом линейного контрастирования и оптимальной линейной фильтрации с применением уравнения Винера-Хопфа. Для тестирования прототипа выбран программный комплекс *Webots*. МР успешно определил препятствие, спланировал маршрут в соответствии с алгоритмом объезда и продолжил движение к целевой точке назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Chi K.-H., Lee M.R. Obstacle avoidance in mobile robot using Neural Network // 2011 International Conference on Con-

sumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2011. PP. 5082–5085.

2. Kristensen S, Horstmann S., Klandt J., Lohner F., and Stopp A. Human-friendly interaction for learning and cooperation // Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, 2001. IEEE. – PP. 2590-2595.

3. Ulas C., Temeltas H. Multi-Layered Normal Distribution Transform for Fast and Long Range Matching // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2013. – Vol. 71 (1). – PP. 85-108.

4. Дергачев, В. В. Способы оценки и снижения вычислительной сложности алгоритмов принятия решений в задачах одновременной локализации и картографирования / В. В. Дергачев, О.О. Каргашов // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №4. [Электронный ресурс] URL: <http://ivdon.ru/rumagazine/archive/n4y2017/4598> (дата обращения: 22.06.2020).

5. Кучерский, Р.В. Алгоритмы локальной навигации и картографии для бортовой системы управления автономного мобильного робота / Р.В. Кучерский, С.В. Манько // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №3(128). – С. 13-22.

6. Montemerlo M., Thrun S., Koller D., Wegbreit B. Fastslam: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. In AAAI-2002 (Vancouver, BC, July 2002).

7. Nist'er D., Naroditsky O., Bergen J. Visual odometry for ground vehicle applications // Journal of Field Robotics. – 2006. – Vol. 23 (1). – PP. 3-20.

8. Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б. Использование данных визуального одометра для автономного возвращения мобильного робота в среде без фиксированных точек отсчета // Экстремальная робототехника: Сборник докладов всероссийской научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2015. – С. 356-361.

9. Герасимов В.Н., Михайлов Б.Б. Решение задачи управления движением мобильного робота при наличии динамических препятствий // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. Спецвыпуск «Робототехнические системы». – 2012. – № 6. – С. 83-92.

10. Герасимов В.Н. Алгоритм SLAM на основе корреляционной функции // Экстремальная робототехника: Сборник докладов всероссийской научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2015. – С. 126-133.

11. Герасимов В.Н. К вопросу управления движением мобильного робота в динамической среде // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 1 (2). – С. 44-51.

12. Gary Bradski, Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface, Intel Technology Journal (1998), [Электронный ресурс] URL: http://opencv.jp/opencv-1.0.0_org/docs/papers/camshift.pdf (дата обращения: 22.06.2020).

13. Gary Bradski and Adrian Kaehler, Learning opencv: Computer vision with the opencv library, 1st ed., O'Reilly Media, Sep. 2008, 580 p.

14. Keinosuke Fukunaga and Larry D. Hostetler, The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 21, 1975, pp. 32-40.

15. Stephan Goebel, Ruben Jubeh, Simon-Lennert Raesch, Albert Zündorf, Using the android platform to control robots, Research paper, Kassel University, 2011, [Электронный ресурс] URL: https://pdfs.semanticscholar.org/fccf/452a3cfb3269f899ee6c3ba602f668816f19.pdf?_ga=2.80217687.1724508901.1587716517-246479418.1587716517 (дата обращения: 22.06.2020).

16. В.А. Плотников. Анализ эффективности существующих методов уклонения от столкновения для мобильного робота // Плотников В.А. – Донецк: Штучный интеллект – 2010. – № 4. – С. 535-541.

17. Strom J., Slavov G., Chown E. Omnidirectional walking

using zmp and preview control for the nao humanoid robot // RoboCup 2009: robot soccer world cup XIII.: Springer, 2010. PP. 378–389

18. Евстигнеев Д. В. Программно-алгоритмическое обеспечение интеллектуальных систем управления автономными мобильными роботами: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.13.01 / Моск. гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики. – Москва, 2003. – 26 с.

19. Карманов В. Г. Математическое программирование / В.Г. Карманов. - 5. изд., стер. - М.: Физматлит, 2004. – 263 с.

20. RoboCup. [Электронный ресурс] URL: <http://www.robotcup.org> (дата обращения: 22.06.2020).

Статья поступила в редакцию 28.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 004

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0003

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ЦЕПОЧЕК ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НАД СИМВОЛЬНЫМИ ФАКТАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПЕРЕБОРА ЛОГИЧЕСКИХ ПРАВИЛ

©2020

Кацман Виктор Игоревич, аспирант,

Новиков Федор Александрович, доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого
(195251 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,
e-mails: vikto9494@gmail.com, fedornovikov51@gmail.com)

Аннотация. Одним из наиболее важных элементов современного образовательного процесса в области технических наук является решение задач на преобразование фактов над символьными выражениями. В ходе решения таких задач обучаемым требуется вывести новое для них решение задачи опираясь на изученные ими правила. Закрепление навыков требует решения больших объемов задач, что влечет необходимость проверки полученных обучаемыми решений. Уже реализовано множество платформ, позволяющих автоматизировать проверку решений. Как правило, они проверяют исключительно ответ, но не ход решения задачи. Такой подход к проверке оставляет возможность получения правильного ответа и засчитанного задания при не до конца продуманном или неправильном решении. Мы предлагаем способ автоматической проверки решения задач, основанный на последовательной проверке совершенных преобразований путем эффективного перебора правил, по которым эти преобразования могли быть совершены. Система на каждом шаге решения перебирает допустимые преобразования, пытаясь найти использованное обучаемым. Проблемы неоднозначности формы записи решаются комбинацией методов тестирования, унификации и структурирования правил записи решения. Предложенный способ автоматической проверки был опробован на студентах младших курсов Политехнического и Электротехнического Университетов и показал неплохие результаты: производительность преподавательского труда при проверке задач повысилась более, чем в 4 раза.

Ключевые слова: образование, игрофикация, преобразование фактов над символьными выражениями, автоматическая проверка решений, правила преобразований

AUTOMATIC VERIFICATION OF TRANSFORMATION CHAINS OF SYMBOLIC FACTS BASED ON LOGICAL RULES SEARCH

©2020

Katsman Viktor Igorevich, postgraduate student,

Novikov Fedor Alexandrovich, PhD in Engineering, professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(195251 St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29,
e-mails: vikto9494@gmail.com, fedornovikov51@gmail.com)

Abstract. One of the most important elements of the modern educational process in the field of natural sciences is the solution of problems of transforming facts of symbolic expressions. When solving such problems, learners need to deduce a new solution of the problem based on the rules they have already learned. To consolidate these skills, learner need to solve a large volume of tasks, which entails the need of verification of the solutions. Many platforms have already been implemented that allow to automate the verification of solutions. Generally, these systems only check the answer, but not the progress of the problem. This approach of verification leaves the possibility of getting the correct answer and the task counted if the decision is not fully thought out or incorrect. We propose a method for automatic verification of problem solutions based on sequential verification of completed transformations by efficiently iterating through the rules that allowed these transformations to be performed. At each step of the solution, the system iterates through the allowed transformations, trying to find one, that learner used. Problems of ambiguity of the recording form are solved by a combination of testing method, unification, and structuring of the recording rules. The proposed method of automatic verification was tested on students of junior courses of the Polytechnic and Electrical engineering Universities and showed good results: the productivity of teaching staff when checking tasks increased more than 4 times.

Keywords: education, gamification, facts of symbolic expression transformations, automated solution verification, transformation rules

Введение. На текущий момент автоматизация труда – это один из самых эффективных, а поэтому и распространенных способов повышения производительности в самых разных отраслях, в том числе в образовании. Стремительно развиваются платформы автоматизации обучения, которые позволяют преподавателю переложить часть рутинной работы на них,

а самому сконцентрироваться на более интересном и важном. Для автоматизации рутинной работы достаточно разово, но тщательно продумать, что и как именно нужно сделать.

Автоматизация актуальна для разных составляющих преподавательского труда, от объяснения нового материала до проверки решений учебных задач. Реше-

ния для автоматизации многих из этих составляющих уже существуют и активно используются. Например, в современных платформах онлайн обучения есть возможность подменить рассказ преподавателя видеозаписью, что позволяет масштабировать деятельность преподавателя: показывать разово записанных фрагмент занятия много раз.

Существенно сложнее качественно автоматизировать деятельность преподавателя в ситуациях, когда требуется индивидуальный подход к обучающимся, понимания уровня их познаний, настроения, психологии. Так, следом за изложением нового материала, необходимо добиться, чтобы обучаемые глубоко усвоили этот материал. А для этого им требуется решить большое число задач, что влечет за собой необходимость проверки решений большого числа задач. Желательно, чтобы по получаемым результатам проверки обучаемый мог понять, где конкретно он мог допустить ошибку, а, может, и получить наводку, как эту ошибку лучше исправлять.

Целью этой статьи является предложение метода, позволяющего автоматически проверять решения задач на преобразования фактов – логических комбинаций над символическими выражениями. А именно, такими фактами являются равенства, неравенства над алгебраическими и логическими выражениями, а также системы и совокупности других фактов. Задача на преобразование фактов подразумевает преобразование исходно данного факта так, чтобы он удовлетворял целевым критериям. Пример задачи на преобразование фактов над символическими выражениями: решить системы уравнений.

$$\begin{cases} x + 5 = y \\ x = 1 - y \end{cases}$$

Здесь приведенная выше система является исходно данным фактом. Целевые критерии: выведенный обучающим в качестве решения задачи факт должен быть системой равенств, в левых частях которых содержатся переменные x и y , а в правых частях числа, которым они равны.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет автоматически проверять учебные задачи на оперирование формулами и правилами преобразований в разных областях точных наук. Составляющие метода были неоднократно проверены нами на студентах младших курсов Политехнического и Электротехнического университетов.

Материалы и результаты исследования. Наиболее используемым на сегодняшний день способом автоматической проверки решений задач является проверка по ответу. Вручную преподаватель задает условие задачи и критерии правильного ответа, а затем по этим критериям автоматически проверяется решение обучаемого. Соответственно, решение засчитывается обучаемому если его ответ удовлетворяет критериям ответа, заданным преподавателем. Этот подход позволяет проверить ответы очень многих учебных задач на вывод, он активно используется в системах

дистанционного обучения, например в *Coursera* [4], *EdX* [5], *Stepic* [6], *WebWork* [7], *Moodle* [8] и других.

В задачах, где ответом является символическое выражение, проверка по ответу может работать двумя способами. Первый – алгоритмически точная проверка равенства выражений. А именно, алгоритм Тарского позволяет верифицировать истинность замкнутых арифметических формул первого порядка с переменными для вещественных чисел, то есть с конечным числом вещественных чисел [9].

Но для большинства символических выражений способов точной проверки по ответу не существует. Общая невозможность автоматической проверки равенства символических выражений, использующих рациональные числа и операции возведения в степень следует из теоремы Ричардсона [10]; невозможность автоматической проверки эквивалентности работы двух программ по их коду следует из теоремы Райса [11];

Существенно больше возможностей предоставляют вероятностные методы, а именно проверка путем совершения серии вычислительных экспериментов или тестированием. В каждом из вычислительных экспериментов результат, полученный обучаемым при определенных значениях символических переменных, сравнивается с правильным ответом. Если во всех вычислительных экспериментах ответ обучаемого совпал с правильным, решение считается правильным, в противном случае можно найти и предъявить обучаемому контрпример.

Здесь становится ключевым подбор значений параметров, для которых требуется провести вычислительные эксперименты, поскольку неправильный ответ может быть принят за правильный, если покрытие тестами не полное. Преподавателю требуется либо провести его вручную – продумать проверяющие тесты, либо алгоритмизировать этот подбор – продумать автоматическую генерацию тестов. Существенную проблему возникают при проверке методом тестирования выражений, имеющих небольшую область определения, поскольку в тестах требуется подбирать значения переменных, при которых значения сравниваемых выражений будут определены. Помогает переход к вычислению значений выражений в комплексных числах [12-13].

И вероятностный, и точный методы проверки решений по ответу довольно распространены и широко используются в системах дистанционного обучения. Например, при создании онлайн-курсов на платформе *Stepic* можно использовать все перечисленные методы проверки по ответу [14].

Но все существующие методы проверки решений по ответу позволяют проверить только конечный результат решения без проверки того, каким именно способом обучаемый к этому результату пришёл. А зачастую случается, что обучаемые приходят к правильному ответу случайно, в частности забывая про ряд важных особенностей или не практикуя необходимые навыки. Проверка не только ответа, но и самого ре-

шения может помочь обучаемому найти ту точку, начиная с которой его рассуждения стали ошибочными.

Предлагаемый в статье подход существенно расширяет пространство возможностей автоматической проверки решений задач в целом, а не только по ответу, что позволяет существенно повысить качество изучения почти всех областей точных наук.

Модель процесса решения задачи и его записи

Первым шагом при решении типовой учебной задачи обучаемый читает и интерпретирует условие задачи. Затем обучаемый начинает шаг за шагом выводить следствия из понятого им условия. Это происходит до тех пор, пока очередное выведенное следствие не приводит обучаемого к решению задачи. Пространство следствий, которые могут быть выведены из заданного условия весьма велико и для того, чтобы прийти к решению обучаемому нужно двигаться в правильном направлении.

В качестве решения задачи обучаемый предъявляет цепочку выведенных им следствий. Преподаватель проверяет, что каждое выведенное следствие действительно следует из предыдущих и, если все так, зачитывает решение задачи. А в случае ошибки указывает на недостаточно обоснованное следствие.

При решении задач на преобразование фактов над символьными выражениями, следствия могут выводиться из исходно данного факта, входящих в него выражений или допустимых правил преобразований. В зависимости от требований к целевому факту, к следствиям из исходно данного факта может применяться либо нет требование их эквивалентности – а именно, чтобы обратное преобразование также было верным. И в том, и в другом случае правильность решения определяется удовлетворением итогового результата целевым критериям и корректностью вывода следствий. Они считаются корректными, если выведены по допустимым правилам вывода и некорректными в противном случае.

Правила вывода различаются по следующим признакам:

1. Эквивалентность – возможность применения правила в обе стороны. Например, правило, которое меняет местами два уравнения в системе – эквивалентно, а правило, которое оставляет только одно из этих уравнений – нет.

2. Актуальность в контексте любых обозначений – правильность правила при подстановке вместо используемых в нем переменных и функций других выражений. Например, правило « $a + b = b + a$ » верно при любых значениях a и b и, соответственно, актуально в любом контексте. Правило « $I * R = U$ » верно только когда I соответствует силе тока, R – сопротивлению, а U – напряжению.

3. Для преобразования выражений / для преобразований фактов над выражениями. Например, « $a + b = b + a$ » — это правило преобразования выражений, а возможность прибавить слагаемое к обоим частям неравенства или вычесть одно уравнение из другого – это правила преобразования фактов.

4. Исходно известные / выводимые в процессе решения. Обучаемый может вывести недостающие ему правила в процессе решения задачи и затем их несколько раз переиспользовать – например, для сокращения объемов записи.

5. Требуемыми для применимости внешними ограничениям. Например, требованиями соблюдения условий на область принимаемых значений переменных.

6. Для правил преобразования выражений – порядковым контекстом применимости. Правило может быть верным при применении в цепочке равенств или в цепочке убываний, или в цепочке возрастаний.

7. Применяемые к основной цепочке преобразований фактов / к второстепенным, используемым для выведения вспомогательных правил

8. Сложностью для применения обучаемым. Применение слишком большого числа правил за один шаг вывода делает такой шаг нетривиальным умозаключением, которое при написании решения требуется разбить на несколько шагов. Отсутствие ограничений на число применяемых правил за один переход делает, например, корректными решения задач на доказательство тождеств, состоящие исключительно из сопоставления фактов, данных в условии.

Набор допустимых правил зависит как от предметной области, так и от конкретной задачи. Например, если целевой факт должен быть эквивалентен исходному, то все правила преобразований, применяемые обучаемым в основной цепочке, должны сохранять эквивалентность. Под основной цепочкой преобразований здесь подразумевается цепочка, начинающаяся с исходно данного факта и заканчивающаяся целевым.

При записи решения основной акцент делается на записи последовательности фактов, выведенных в основной цепочке преобразований. Примененные в ходе вывода правила преобразования обычно опускаются, за исключением случаев, когда определение примененного правила явно неочевидно. Вывод вспомогательных правил зачастую бессистемно выносятся на поля или в другие места, не привязанные напрямую к месту их применения.

Метод, подходящий для автоматической проверки, должен учитывать описанные выше нюансы, а нотация решений, записываемых в цифровом виде, должна быть близка к общепринятой нотации при записи решений на бумаге, в противном случае переход на нее будет затруднителен для обучающихся.

Предлагаемый метод автоматической проверки. В основе предлагаемого метода лежит метод эффективного перебора правил, который описывался нами в [12,13,15] на примере задачи автоматической проверки корректности цепочек преобразований символьных выражений. Суть метода в отдельной проверке каждого совершенного обучаемым перехода путем попытки найти примененную им комбинацию правил преобразования, которая покажет обоснованность данного перехода. Поиск осуществляется путем эффективного перебора, на первом этапе которого

отбираются правила, применимые к левой и правым частям совершенного преобразования. На втором этапе правила применяются к левой и правым частям, а затем результаты применения правил сравниваются между собой методом тестирования, то есть путем совершения серии вычислительных экспериментов. Глубина рассматриваемого перебора правил подбирается в зависимости от сложности правил. Если комбинации правил, трансформирующих правые и левые части совершенного обучаемым преобразования в равные выражения, находятся, то такой переход считается корректным. В противном случае – не корректным или слишком сложным для обучаемого.

Если все совершенные обучаемым переходы оказываются корректными, а итоговый результат-ответ удовлетворяет целевым требованиям, то решение объявляется корректным, а задача засчитанной. В противном случае обучаемому может быть предъявлен неправильный или слишком сложный переход. В этом случае обучаемый может попробовать разбить его на несколько более простых переходов.

Для применимости метода к автоматической проверке преобразований фактов над символическими выражениями, эффективный перебор правил должен удовлетворять требованиям описанной в предыдущей секции модели.

Так, при требовании сохранения эквивалентности перебор может осуществляться исключительно среди эквивалентных правил преобразования. При отсутствии такого требования односторонние правила могут быть применены только одним способом. Актуальность в контексте любых обозначений учитывается при поиске применимых правил. Правила, выведенные обучаемым самостоятельно, актуальны в любом контексте, если и только если они выводились исключительно на основе правил, актуальных в любом контексте.

Все доступные при решении задачи правила вывода делятся на 3 группы: системные правила; правила, настраиваемые преподавателем и правила, выводимые обучающимся. К первой группе относятся правила, связанные с особенностями оперирования фактов внутри систем и совокупностей. В эту часть входит множество ситуаций с трудоемким перебором, например, факты могут быть переставлены в произвольном порядке $n!$ способами. При этом, такие перестановки фактов являются для обучаемых тривиальными переходами, которые могут быть совмещены с другими преобразованиями, например, с группировкой некоторых из них и сложением (рис. 1). При проверке применимости системных правил, совершается предварительная оценка сложности перебора, далее в нетрудоемких случаях происходит полный перебор. В более трудоемких ситуациях перебор сокращается вплоть до рассмотрения исключительно одного варианта, в котором все внутренние факты сортируются лексикографически. Например, в случае перестановки фактов, это означает что в случае, когда факты были только переставлены, но никакие другие преобразова-

ния при этом не совершались – переход будет признан верным. При дополнительном совершении других правил преобразования – не обязательно.

$$\begin{aligned}
 [V(x,2) = [V(n,k) = C(k+n-1,k) = \frac{(k+n-1)!}{(n-1)! \times k!}] = \frac{(x+2-1)!}{(x-1)! \times 2!} = \frac{(x+1)!}{(x-1)! \times 2!}] \\
 V(x,2) = A(x,1) \\
 \frac{(x+1)!}{(x-1)! \times 2!} = A(x,1) \\
 \frac{(x+1)!}{(x-1)! \times 2!} = \frac{x!}{(x-1)!} \\
 \left\{ \begin{aligned} & \frac{2(x-1)!}{x!} \neq 0 \\ & \frac{(x+1)!}{(x-1)! \times 2!} \times \frac{2(x-1)!}{x!} = \frac{x!}{(x-1)!} \times \frac{2(x-1)!}{x!} \Rightarrow \\ & \frac{(x+1)!}{x!} = 2 \Rightarrow x+1 = 2 \Rightarrow x+1-1 = 2-1 \Rightarrow x = 1 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

Рисунок 1 - Пример записи корректного решения задачи на комбинаторные формулы

Правила, настраиваемые преподавателем и выводимые обучающимся, имеют один и тот же вид. Разница в том, что правила, настроенные преподавателем, считаются верными по-умолчанию, а правила, добавляемые обучающимся, должны быть из них выведены. Также в преподавательских правилах сложность настраивается на усмотрение преподавателя. Правила, выведенные обучаемым за один шаг, могут быть применены только с другими правилами, помеченными преподавателем как тривиальные, обычно это базовые арифметические правила, например, приведение подобных.

Эксперименты и результаты. Эксперименты были проведены с целью удостовериться, что разработанный метод применим не только для преподавателей, но и для обучаемых. А именно, проверить, что обучаемые могут быстро усвоить используемую для записи решений нотацию, что запись решения в цифровом виде требует примерно столько же времени, сколько требует запись решения на бумаге, а также, что результаты, полученные при автоматической проверке решений будут близки к результатам ручной проверки.

На текущий момент мы уже успели провести эксперименты на 2х потоках студентов 1 и 2го курса Политехнического и Электротехнического Университетов в рамках курсов по дискретной математике в 2017-2020 годах. За прошедшие годы общая концепция экспериментов не менялась, но разработанная система автопроверки была существенно улучшена: повысилось количество поддерживаемых типов задач, поправлены баги и усовершенствована логика проверки. В ходе экспериментов студентам кратко объяснялась логика работы автоматической проверки и правила записи решений, после чего студентам предлагался ряд задач по комбинаторике, теории множеств и логическим исчислениям.

Результаты экспериментов показали, что студенты в состоянии быстро освоить новые правила записи решений: из приступавших к решению задач нашлось только двое, которые не смогли решить ни одной за-

дачи. Скорость решения задач в системе получилась в среднем примерно в полтора раза медленнее скорости записи решений на бумаге.

Отдельной целью экспериментов было понимание о том, сколько времени экономит преподаватель благодаря автоматической проверке. Довольно трудоемкой работой оказалось составление допустимых правил преобразований (на это уходят часы), но это разовое действие. Сведение результатов автоматической проверки воедино для одного эксперимента занимает в среднем полчаса-час, в зависимости от количества студентов. Ручная проверка решений тех же задач для другого потока студентов занимала в среднем более 6-ти часов.

Следовательно, проведенные эксперименты подтверждают актуальность и возможность использования разработанного метода для автоматической проверки решений учебных задач на преобразования фактов над символьными выражениями.

Заключение. Предложенный метод автоматической проверки решений учебных задач на преобразование фактов над символьными выражениями сильно расширяет возможности автоматической проверки учебных задач в областях точных наук. Это позволяет повысить навыки учащихся по владению формулами, и, таким образом, способствует повышению качества образования в целом. В текущий период вынужденной самоизоляции предлагаемые способы становятся особенно актуальны.

Мы продолжаем работать в этом направлении, наши дальнейшие планы связаны с увеличением числа поддерживаемых предметных областей, а также с улучшением записи решений задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Auvinen T. Harmful Study Habits in Online Learning Environments with Automatic Assessment. Proceedings of the 2015 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering. – 2015 – С. 50-57.
2. Willman S., Linden R., Kaila E., Rajala T. and Laakso M. On study habits on an introductory course on programming. Computer Science Education.- 2015. – С. 276-291.
3. Tirronen M. and Tirronen V. A framework for evaluating student interaction with automatically assessed exercises. Koli Calling '16 Proceedings of the 16th Koli Calling International Conference on Computing Education Research. - 2016. – С. 180-181.
4. Coursera. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.coursera.org/>
5. EDX. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.edx.org/>. Последний доступ 05.08.2020.
6. Stepik. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://welcome.stepik.org/en>.
7. WeBWorK. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://webwork.elearning.ubc.ca/webwork2/>.
8. Moodle. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://moodle.org/>.
9. Rogers H. The Theory of Recursive Functions and Effective Computability. MIT Press, 1987, ISBN: 0-262-68052-1;

ISBN: 0-07-053522-1.

10. Richardson D 1968, Some Unsolvable Problems Involving Elementary Functions of a Real Variable (Journal of Symbolic Logic 33 (4)) pp 514-520 10.2307/2271358.

11. Rice H 1953 Classes of Recursively Enumerable Sets and Their Decision Problems (Transactions of the American Mathematical Society 74 (2)) p 358 10.2307/1990888.

12. Novikov, F., Katsman, V., Mosin, V., 2020. Automated verification of expression transformation chains based on computational experiments. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Scopus, 012132.

13. Новиков Ф. А., Кацман В. И. Автоматическая проверка решений учебных задач на основе комбинации методов перебора логических правил и тестирования. Цифровые технологии в инженерном образовании: новые тренды и опыт внедрения, Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, -2020 – С. 266-273.

14. Stepik Math Lesson. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://stepik.org/lesson/9176/step/1?unit=1721>.

15. Novikov F. and Katsman V. Gamification of Problem Solving Process based on Logical Rules. Springer LNSC. – 2018 - С. 369-380.

16. А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман «Построение и Анализ Вычислительных Алгоритмов», М., Мир, 1979.

17. М. Гэри, Д. Джонсон, «Вычислительные Машины и Труднорешаемые Задачи», М., Мир, 1982.

18. Н. Нильсон, «Принципы искусственного интеллекта», М., Радио и связь, 1985.

19. О. П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский, «Дискретная математика для инженера», М., Энергоатомиздат, 1988.

20. Ф. А. Новиков, «Дискретная математика для программистов», Питер, 2003, ISBN 5-947233-55-X.

Статья поступила в редакцию 11.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 004.04

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0004

**МЕТОД ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ НАБОРА ДАННЫХ, ОПТИМИЗИРУЮЩИЙ
КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ СЕТЕЙ, РЕШАЮЩИХ ЗАДАЧУ
ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ**

© 2020

Малинин Дмитрий Денисович, ведущий программист

ООО «Ай-Текс ВЦ»

(440026, Россия, Пенза, ул. Пушкина, д. 3., e-mail: dmt.malin@gmail.com)

Аннотация. Данная статья посвящена описанию метода программной подготовки набора данных для обучения сверточных нейронных сетей, которые решают задачу поиска и идентификации объектов. Описанный в статье метод был применен к набору данных для обучения сверточной нейронной сети, который представляет собой множество изображений с размеченными областями интересов (Region Of Interest). Характерной особенностью данного набора, является то, что области интересов охватывают не только объекты идентификации, но и другие информационные признаки изображения, которые не характеризуют искомые объекты. Метод предлагает провести программную подготовку данных, путем структурного анализа границ двоичного изображения, с последующим построением маски по найденным контурам с целью наложения на исходное изображение, что в конечном итоге позволяет оставить в области интересов только объект идентификации. Применение данного метода на целевом наборе данных позволило существенно улучшить качество обучения сверточной сети Fast-RCNN для задачи идентификации объекта на изображении. Качественная оценка проводилась путем сравнения на каждой эпохе обучения приближения кросс-энтропии к нулевому значению. На наборе, обработанном предлагаемым методом, скорость приближения кросс-энтропии к нулевому значению более чем на 16% быстрее относительно исходного набора без обработки.

Ключевые слова: Нейронная сеть, сверточная сеть, подготовка данных, компьютерное зрение, фильтр Гаусса, метод Оцу, алгоритм Рамера - Дугласа - Пекера.

**DATA SET PROGRAM PROCESSING METHOD OPTIMIZING QUALITY OF TRAINING OF
CONVOLUTION NETWORKS SOLVING THE OBJECT OF SEARCH AND IDENTIFICATION OF
OBJECTS**

© 2020

Malinin Dmitriy Denisovich, lead programmer

Limited liability company «I-teco Computer Center»

(440026, Russia, Penza, Pushkina St., 3, e-mail: dmt.malin@gmail.com)

Abstract. This article is devoted to the description of the method of software preparation of a data set for training convolutional neural networks that solve the problem of searching and identifying objects. The method described in the article was applied to a dataset for training a convolutional neural network, which is a set of images with marked regions of interest (Region Of Interest). A characteristic feature of this set is that the areas of interest cover not only identification objects, but also other information signs of the image that do not characterize the desired objects. The method suggests that the data be prepared programmatically by structural analysis of the boundaries of the binary image, followed by the construction of a mask according to the found contours in order to overlay the original image, which ultimately allows you to leave only the identification object in the area of interest. The application of this method on the target data set made it possible to significantly improve the quality of training of the Fast-RCNN convolution network for the task of identifying an object in the image. A qualitative assessment was carried out by comparing, at each training epoch, the approximation of cross-entropy to a zero value. The rate of cross-entropy approaching to zero on a set processed by the proposed method is more than 16% faster than the initial set without processing.

Keywords: Neural network, convolutional network, data preparation, computer vision, Gaussian filter, Otsu method, Ramer-Douglas-Pecker algorithm.

Введение. В задачах машинного обучения качество моделей сильно зависит от качества данных, на которых производится процесс обучения. Под качеством данных следует понимать максимально возможный набор информационных характеристик, из которых модель сможет наиболее эффективно построить нелинейные зависимости для решения поставленной перед ней задачи [1,2]. Наиболее распространенной задачей в машинном обучении является задача поиска и идентификации объектов, практическое применение которой встречается в различных технических сферах.

Решения данной задачи используются, например, в системах контроля доступа для идентификации человека и в промышленных системах на производственных линиях для подсчета продукции в товарных упаковках. В сверточных сетях типа *Fast-RCNN*, *YOLO*, которые решают проблему поиска и идентификации объекта, обучающим набором данных являются изображения с размеченными классификаторами области интересов. Классификаторы области интересов представляют собой множество прямоугольников $P = \{p_1, \dots, p_n\}$. Каждый прямоугольник $p_i \in P$ описывается точ-

кой $A_i(x_p, y_i)$ и парой положительных действительных чисел (w_p, h_p) , которые соответствуют длине и ширине прямоугольника. Таким образом область интересов ограничивает объекты прямоугольником $p_i \in P$ от остального изображения [3,4].

Однако, исходя из определения, в область интереса могут попадать данные, которые не содержат полезных характеристик, что может отрицательно влиять на скорость и качество обучения в сверточных сетях. Для оценки качества обучения используется функция потерь, которая характеризует насколько далеко прогнозируемые значения отклоняются от фактических значений в наборе данных. Существует несколько видов оценки функции потерь. В данном исследовании отклонение от фактических значений характеризуется кросс-энтропийной функцией (*Cross-entropy loss*), которая интерпретирует выходной сигнал в интервале значений от 0 до 1. Другими словами, идеально обученная модель будет иметь нулевое значение кросс-энтропии [5].

Целью данной статьи является разработка метода,

который позволяет удалить из области интересов информацию, не содержащую характеристик идентифицируемого объекта.

В процессе исследования, был подготовлен набор данных для обучения сети. В последствии набор данных был обработан предлагаемым методом, на котором проводилось повторное обучение. В результате произведено сравнение двух функций отклонений от процесса обучения с данными без обработки и с обработкой соответственно. Функция потерь от процесса с обработкой показала лучшее приближение кросс-энтропии к нулевому значению.

Материалы исследования. Метод заключается в структурном анализе границ двоичного изображения (контурный анализ), с последующим построением маски по найденным контурам с целью наложения на исходное изображение, что в конечном итоге позволяет оставить в области интересов только объект идентификации [6-8]. Предложенный метод обработки изображения можно представить с помощью алгоритма на рисунке 1.

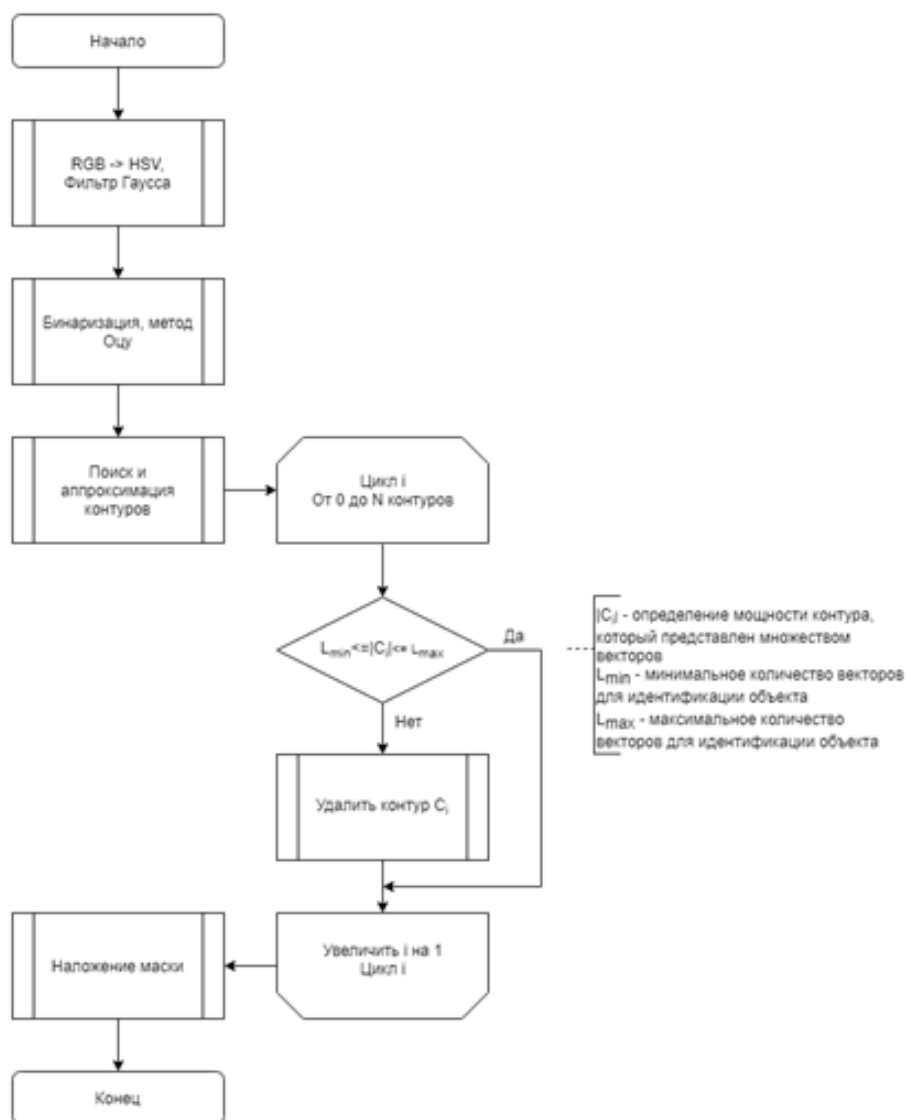


Рисунок 1 – Алгоритм обработки изображения

На вход алгоритма поступает изображение в цветовом пространстве RGB . Пространство RGB необходимо преобразовать к HSV . Целью этого преобразования является то, чтобы получить более выраженные детали изображения, независимо от условий освещения [9]. После преобразования обработка производится на канале насыщенности S . Преобразование из цветового пространства RGB в HSV и расчет S -канала приведено в уравнении 1 [10].

$$\begin{aligned} C_{max} &= \max(R, G, B) \\ C_{min} &= \min(R, G, B) \\ S &= \begin{cases} 0, & C_{max} = 0 \\ 1 - \frac{C_{min}}{C_{max}}, & C_{max} \neq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

После выделения канала насыщенности, на изображение накладывается гауссовский фильтр (*Gaussian Blur*) для устранения помех [11]. Общее математическое выражение гауссовского фильтра приведено в уравнении 2.

$$G(r) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Для поиска границ объектов, подготовленный канал насыщенности необходимо привести к бинарному виду, путем нахождения пороговых значений. Порого-

вые значения на изображении определяются методом Оцу (*Otsu's Method*) [12]. Метод Оцу использует гистограмму изображения для расчета порога бинаризации.

Суть метода заключается в разделении пикселей изображения на два класса: «объектный» и «фоновый», путем минимизации внутриклассовой дисперсии, которая определяется как взвешенная сумма дисперсий двух классов, что выражается в уравнении 3.

$$\sigma_{\omega}^2 = \omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2 \quad (3)$$

ω_1 и ω_2 – вероятности первого и второго классов соответственно.

В свою очередь, как показано в исследовании Оцу, минимизация внутриклассовой дисперсии эквивалентна максимизации межклассовой дисперсии, что показано в уравнении 4.

$$\sigma_b^2 = \omega_1 \omega_2 (a_1 - a_2)^2 \quad (4)$$

a_1 и a_2 – средние арифметические значения для каждого из классов.

Применяя метод Оцу на канал насыщенности S , получим бинарное изображение. На рисунке 2 изображен канал насыщенности S , результат применения метода Оцу и гистограмма распределения канала S для определения минимизации межклассовой дисперсии соответственно.



Рисунок 2 – Канал S , бинарное изображение, гистограмма распределения канала S

Далее по бинарному изображению производится топологический структурный анализ для определения контуров с помощью алгоритма, предложенным Сатоши Сузуки (*Satoshi Suzuki*) [13,14]. Алгоритм предполагает нахождение контуров с учетом вложенности, то есть способен определить, когда в контур одного объекта вложен другой. Результатом применения алгоритма является множество подмножеств векторов (контуров), которые описывают, находящиеся в области интересов, границы объектов.

Но как уже было отмечено, в области интересов могут присутствовать объекты, которые не являются объектами идентификации. Исключение таких объектов, производится путем нахождения и анализа аппроксимированных кривых, построенных по найденным контурам. Для нахождения аппроксимирующей кривой используется алгоритм Рамера — Дугласа — Пекера [15,16]. Алгоритму задается исходная кривая и максимальное расстояние (ϵ), которое может быть между исходной и упрощенной кривой. Максимальное расстояние, в данном исследовании, вычисляется как произведение коэффициента аппроксимации на длину кривой. Коэффициент аппроксимации устанавли-

вается эмпирически в интервале от 0,01 до 0,1. Формула расчета ϵ представлена в уравнении 5.

$$\epsilon = k * L, \quad (5)$$

k - коэффициент аппроксимации, L — длина кривой.

В результате применения алгоритма Рамера — Дугласа — Пекера, объект на изображении определяется подмножеством упрощенных векторов (контур). Другими словами, тип объекта можно определить исходя из количества, описывающих его, векторов или минимальным и максимальным пороговым значением. Тем самым, на изображении исключаются объекты, у которых количество аппроксимированных кривых не эквивалентно количеству кривых идентифицируемого объекта или количество кривых не находится в интервале пороговых значений [17]. Так же дополнительным фильтром для исключения может являться длина кривой, которая должна быть больше установленного порогового значения.

Последним шагом предлагаемого метода, является построение маски с последующим наложением на исходное изображение, для того, чтобы исключить цветовую информацию, которая находится вне най-

денных границах [18]. Маска строится путем создания нулевой матрицы Θ_{IKW} с последующим заполнением по границам значениями, которые соответствуют представлению белого цвета.

Далее наложение маски на исходное изображение производится путем побитового соединения, формула которого представлена в уравнении 5.

$$dst(I)=src1(I)Asrc2(I) \quad (5)$$

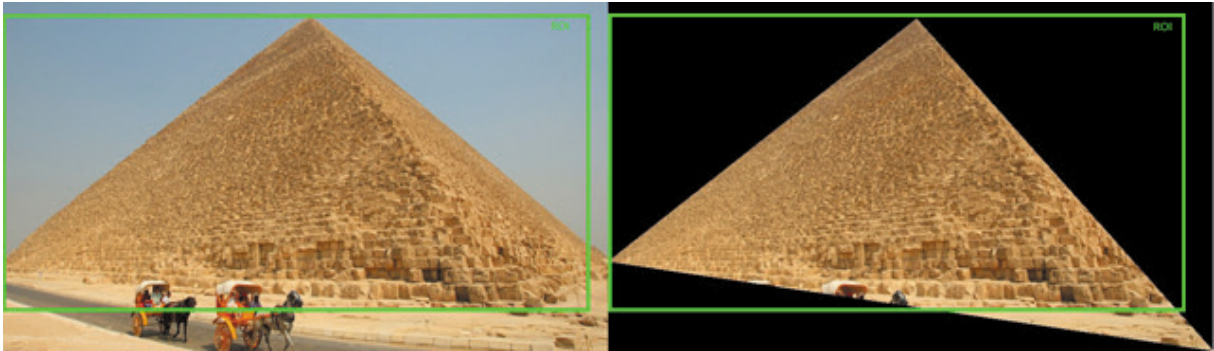


Рисунок 3 – Исходное и обработанное алгоритмом изображение. Объект идентификации – пирамида

На рисунке 4 представлен график кросс-энтропии [19] потерь на каждой эпохе обучения для исходного набора и для набора с обработкой. Как видно из рисунка 3 приближение кросс-энтропии к нулевому значению происходит быстрее на наборе данных, который был обработан предложенным методом.

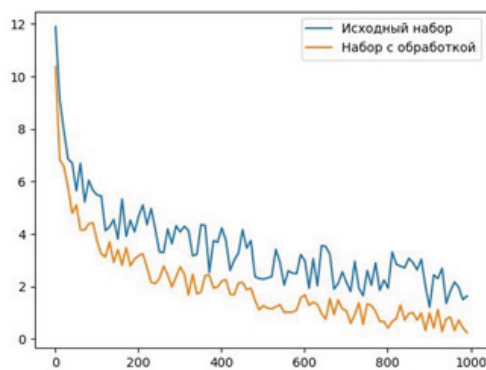


Рисунок 4 – график функций потерь обучения

Разница скорости приближения к нулевому значению кросс-энтропии составила 16.46% в пользу набора данных обработанным предложенным методом. Формула расчета процентной разности для каждой эпохи обучения представлена в уравнении 6 [20].

$$diff = \frac{\sum_{i=1}^n \left| (\eta_{исх\ i} - \eta_{обр\ i}) / \left(\frac{\eta_{исх\ i} + \eta_{обр\ i}}{2} \right) \right|}{n} \cdot 100, \quad (6)$$

$\eta_{исх}$ и $\eta_{обр}$ – значение кросс-энтропии на каждой эпохе обучения для исходного и обработанного набора соответственно.

Заключение. Таким образом, применяя данный метод при подготовки данных для обучения свер-

Результаты исследования. В результате применения данного метода область интересов содержит только информацию, характеризующую объект идентификации. На рисунке 3 представлены исходное изображение, обработанное алгоритмом и размеченная область интересов (ROI), которая описывает объект идентификации. Как видно из рисунка 3, алгоритм успешно удалил информацию, которая не относится к объекту идентификации.

точных сетей, типа *Fast-RCNN*, *YOLO*, возможно существенно улучшить качество и скорость обучения. Также к достоинствам данного метода можно отнести универсальность, так как метод может применяться практически на любых наборах данных, подготовленных для поиска и идентификации объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Умберто М. Прикладное глубокое обучение. Подход к пониманию глубоких нейронных сетей на основе метода кейсов, БХВ-Петербург // - 2020. - С. 368.
2. Горлач Б. Тензорная алгебра и тензорный анализ, Лань // -2015. - С. 160.
3. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing (4th Edition) // - 2017, - С. 1192
4. Клетте Р. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы, ДМК Пресс // -2019. - С. 506.
5. Паттанаяк С. Глубокое обучение и TensorFlow для профессионалов. Математический подход к построению систем искусственного интеллекта на Python, Вильямс // - 2019. - С. 480.
6. Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке, БХВ // -2017. - С. 720.
7. Трутнев Д. Р. Архитектуры информационных систем. Основы проектирования. // СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 66 с.
8. Кнут Д. Искусство программирования т.1. Основные алгоритмы // Вильямс Издательский дом 2000. - С. 27.
9. T. Pavlidis, Algorithms for Graphics and Image Processing, Computer Science Press, Rockville, Maryland, 1982.
10. Гарсия Г. Обработка изображений с помощью OpenCV, ЛитРес // -2017. -С. 212.
11. J. Howse. Learning OpenCV 3 Computer Vision with Python - Second Edition, Packt Publishing // - 2015. – С. 266.
12. N. Otsu. A threshold selection method from gray level histograms. IEEE Trans.systems. Man. and Cybernetics, 9:62–66,1979.
13. Suzuki, S. and Abe, K., Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following. CVGIP 30 1, pp 32-46, 1985.
14. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted

cascade of simple features // Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – Washington DC: IEEE Computer Society, 2001. – P. 511–518.

15. Ramer Urs. An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves // Computer Graphics and Image Processing. 1972. № 1(3). P. 244-256.

16. Douglas David, Peucker Thomas. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature // The Canadian Cartographer. 1973. № 10(2). P. 112-122.

17. Farell A. James. From Pixels to Animation: An Introduction to Graphics Programming, Academic Press // - 2014. - С. 692.

18. Raja Y., McKenna S., Gong S. Colour model selection and adaptation in dynamic scenes // Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision (ECCV '98). – London: Springer-Verlag, 1998. – V. 1. – P. 460-475.

19. J. de Vries. Object Recognition: A ShapeBased Approach using Artificial Neural Networks //-2006

20. P. Felzenszwalb, R. Girshick, D. McAllester, and D. Ramanan, Object Detection with Discriminatively Trained Part Based Models, IEEE Trans. Pattern Anal. and Mach. Intell. 32(9), 1627–1645 (2010).

Статья поступила в редакцию 17.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 004.5

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0005

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

© 2020

Мартышкин Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Вычислительные машины и системы»

Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)

Пашенко Татьяна Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры «Менеджмент и экономическая безопасность»

Пензенский государственный университет
(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mail: tania.paschenko@gmail.com)

Бершадская Елена Григорьевна, кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры «Вычислительные машины и системы»

Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: bereg.50@mail.ru)

Аннотация. В настоящей статье приводится описание процесса разработки программного обеспечения информационной системы указания пути с применением дополненной реальности. В начале статьи рассматриваются вопросы, связанные с постановкой задачи исследования. Определяются цель и решаемые задачи для ее достижения. Приводятся теоретические сведения и наработки в рассматриваемой предметной области. Во второй части рассматривается архитектура разрабатываемой программы, приведено обоснование выбора языка программирования. Третья часть содержит непосредственно решение вопросов разработки алгоритмов и программы. Следующий раздел посвящен описанию руководства оператора. В заключении подводится итог о проделанной работе, делаются соответствующие выводы о полученных результатах. Подчеркивается, что результатом работы является программное обеспечение для создания маршрута и передвижения по нему в режиме дополненной реальности. Отмечается, что в качестве расширения и доработки данного программного продукта можно рассматривать разработку программного обеспечения под другие мобильные операционные системы (например, iOS и Windows Phone).

Ключевые слова: дополненная реальность, карты, мобильные приложения, навигация, Android, Java.

MAP DIRECTIONS SYSTEM APPLICATION UTILIZING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY

© 2020

Martyshkin Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, doцент,
associate Professor of sub-department «Computers and systems»

Penza state technological University
(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)

Pashchenko Tatyana Yuryevna, candidate of economic Sciences,
associate Professor of sub-department «Management and economic security»

Penza State University
(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: tania.paschenko@gmail.com)

Bershadskaia Elena Grigorevna, candidate of technical sciences,
professor, professor of sub-department «Computers and systems»

Penza state technological University
(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: bereg.50@mail.ru)

Abstract. This paper describes the development process for the map directions information system application utilizing augmented reality technology. The first part of this paper discusses issues related to the research objective formulation. The objective and tasks to be solved are determined. Theoretical information and developments in the subject area are discussed. The second part describes the developed application architecture, the choice of a programming language is explained. The third part expressively addresses the development of algorithms and the application itself. The next section contains instructions for end users. And finally, a summary of the concluded work is given and relevant conclusions are made about the obtained results. It is emphasized that the work leads to the creation of an application for route finding and navigation in augmented reality mode. It is noted that this application can be extended and enhanced by developing versions for other mobile operating systems (for example, iOS and Windows Phone).

Keywords: augmented reality, maps, mobile applications, navigation, Android, Java.

Введение. Популярность мобильных устройств возрастает ежедневно, и это не удивительно, ведь сегодня с их помощью можно просто найти любую необходимую информацию или выполнить сложную операцию, не прикладывая больших усилий. Одним из самых главных факторов популярности телефонов

перед PC и планшетами служит доступность гаджета и его мобильность. Сегодня одним из наиболее перспективных направлений развития информационных технологий является применение дополненной реальности – среды с дополнением физического мира цифровыми данными, которые воспринимаются как элементы реальной жизни [1, 2]. Если пользователь отклонится от маршрута, приложение поможет ему найти направление к назначенному месту с помощью указателя в дополненной реальности (AR). Итак, настоящая статья направлена на разработку программного обеспечения для мобильного приложения «AR Навигатор», и основные из ее преимуществ – современность и актуальность.

Материалы и результаты исследования. Была поставлена задача разработать качественное и доступное приложение с элементами дополненной реальности, предоставляющее возможность пользователю построить удобный маршрут. Перед разработчиком мобильного приложения стоит задача в построении маршрута до пункта назначения с использованием элементов дополненной реальности.

В приложении должны быть реализованы следующие возможности: выбор объекта; формирование пути до объекта от текущей координаты; разбиение пути на координаты и привязка к ним разных типов указателей; прорисовка указателей в дополненной реальности.

Разрабатываемое мобильное приложение предназначено для отображения текущего местоположения и построения пути к месту, выбранному на карте, с использованием указателей, прорисованных в дополненной реальности. Выбор источника входных данных происходит на основании доступности более приоритетных источников, если доступа или данных нет, то система автоматически запрашивает данные у менее приоритетного источника. Пользователь получает информацию в виде графических элементов, таких как метки, стрелки, формы и т.д. Данные в отображаемых элементах зависят от того, какой набор действий произвел пользователь.

Разрабатываемое мобильное приложение предназначено для отображения текущего местоположения и построения пути к месту, выбранному на карте, с использованием указателей, прорисованных в дополненной реальности.

На данный момент времени ОС *Android* является самой популярной ОС в мире. По данным с официального сайта ОС *Android*, на данный момент ОС работает на таких устройствах как: смартфоны, *smart*-часы, планшеты, *smart-TV*, а также успешно интегрируется в автомобиль [3]. Существует множество книг, описаний, статей и *internet*-ресурсов, посвященных написанию приложений под ОС *Android*. Всю необходимую литературу можно найти как на английском, так и на русском языках. Проанализированы следующие литературные источники по теме работы [4 – 7] и [8 – 11]. В [12] рассмотрены некоторые вопросы разработки приложения: разработка программ для мобильных

устройств под управлением ОС *Android*, базовые сведения о платформе *Android*, программное обеспечение, необходимое для разработки *Android*-приложений. Источник [13] посвящен разработке программного обеспечения на базе *Android SDK*. Примеры, которые представлены в книге, отражают реальные задачи программирования с опорой на изученный теоретический материал. Книга [14] содержит объемный теоретический материал. Описание каждого подраздела сопровождается наглядными примерами в виде шестнадцати приложений для *Android*, существующих в реальном времени и широко использующихся.

Одной из главных особенностей статьи является использование датчиков, встроенных в мобильное устройство. На сайте [15] можно найти информацию о всех видах датчиков, которые могут использоваться в мобильном устройстве, а также примеры их использования.

Для работы приложения с картами и расчетом расстояний, площадей и определением направлений с помощью сферической геометрии используется *Google Maps Android API*. С данным интерфейсом можно подробнее ознакомиться на официальном сайте *Google Maps API* [16], где можно найти необходимые уроки по теме.

На начальном этапе синтеза мобильного приложения в статье прорабатываются некоторые вопросы, среди которых, например, выбор шаблона проектирования приложения. О существующих шаблонах и их способах реализации рассказано в [17, 18].

На сегодняшний день рынок мобильных приложений является одним из самых востребованных. По статистике аналитической компании *We Are Social* на апрель 2020 год смартфоны остаются главным инструментом для выхода в сеть и генерируют больше веб-трафика, чем все другие устройства вместе взятые [19].

Архитектурные шаблоны являются важнейшей частью ПО. Они помогают сохранить код в чистоте, сделать его расширяемым и тестируемым. Существует множество архитектурных шаблонов, которые используются при андроид разработке, рассмотрим шаблоны *MVVM*, *MVC*, *MVP* [17, 18].

MVVM (Model-View-View Model). Такой подход позволяет связывать элементы представления со свойствами и событиями *View*-модели. Можно утверждать, что каждый слой этого паттерна не знает о существовании другого слоя. *MVVM* рассчитан на разработку приложений в команде.

Архитектурный шаблон *MVC (Model-View-Controller)* создавался с целью разделения бизнес логики от представления. Принцип работы этого шаблона состоит в том, что пользователь взаимодействует с контроллером, контроллер запрашивает данные у модели и заполняет *View*, который отображается пользователю.

Одним из эффективных шаблонов проектирования является *MVP (Model-View-Presenter)* т.к. он позволяет отделить пользовательский интерфейс (*View*) от самих

данных (*Model*) и производить взаимодействие между ними через посредника (*Presenter*), что упрощает написание *Unit*-тестов и упрощает масштабирование приложения. Данный подход к разработке является молодым, но стремительно набирает свою популярность за счет простоты и эффективности решения многих задач, так же данный подход будет добавлен в новую версию языка *Java*. Суть данного подхода заключается в использовании асинхронных потоков данных. Такой подход позволяет сделать приложения более устойчивыми к сетевым ошибкам и упростить обработку различных событий. Поэтому с целью повышения стабильности работы приложения был использован данный подход к программированию.

В начале работы приложения открывается карта, на которой отображается текущая локация пользователя, получение данных осуществляется через интернет. Для того чтобы использовать карту в приложении, сначала необходимо зарегистрироваться на сайте *Google Maps* чтобы получить их *API* ключ.

Архитектура программного обеспечения. Разработка приложений под ОС *Android* не требует от разработчика использования специфической аппаратной и/или программной платформы, что упрощает процесс разработки ПО. Для проектирования используется интегрированная среда разработки (*IDE*) *Android Studio* от компании *Google*, которая включает в себя все необходимые инструменты для создания, отладки и тестирования программных приложений. Так же для работы с *IDE* и компиляции приложений нужна минимальная версия *Java 6*. *Android Studio* располагает богатым функционалом, который помогает ускорить разработку приложений. Данная *IDE* включает в себя ряд необходимых средств для разработки приложений [20].

Из рассмотренных вариантов (*Swift*, *C#*, *Java*), язык программирования *Java* является наиболее подходящим для выполнения поставленных задач так как включает в себя обширную библиотеку классов, фреймворков и т.д. Поскольку выбранным языком программирования является *Java*, разработка приложения будет производиться в среде разработки *Android Studio*. Разработка структуры данных является одной из важнейших задач на начальном этапе разработки, зачастую именно данные определяют возможный функционал разрабатываемого приложения и принципы его работы. Используемый в настоящей статье архитектурный шаблон проектирования *MVP* дает возможность отделить данные от их представления, что дает возможность хранить данные в любом удобном виде и изменять их без ущерба для основной логики программы. Входные данные поступают из датчиков на мобильном устройстве, а также служб *Google*. Для работы с аппаратными датчиками применяется класс *SensorManager*, вне зависимости от того сколько датчиков будет использовано в программе все они работают независимо друг от друга и с них легко снимать показания, однако при работе с датчиками необходимо учитывать, что они значительно увеличивают энерго-

потребление.

Обычно тестирование подобных приложений с использованием аппаратных датчиков происходит на реальном устройстве и прежде, чем это сделать, лучше всего будет убедиться в наличии датчиков на вашем смартфоне, это можно сделать, посмотрев характеристики вашего телефона или написать небольшую программу для вывода показаний со всех датчиков. После получения данных они представляются в виде потока данных, которые внутри себя содержат структуру классов. Все данные, поступившие с сервисов, хранятся в локальном хранилище, что позволяет, в случае отсутствия подключения к интернету или сетевой ошибки, получать данные из локального хранилища и продолжить работу с ним. Данные с датчиков не нуждаются в длительном хранении так как данные, получаемые из них, постоянно изменяются.

Разработка алгоритмов. При запуске приложения, пользователю необходимо принять соглашение для работы с его местоположением, после чего определяется его локация и камера центрируется по его местоположению, если не удалось определить локацию то из хранилища будут браться данные о последней локации пользователя, если ее не удалось получить то на экране появится сообщение с подсказкой. После чего можно будет построить маршрут, с ним можно выполнять операции по изменению и удалению, для дальнейшего использования приложения необходимо щелкнуть на кнопку с изображением камеры для перехода на экран с камерой. Если пользователь совершил какое-то не правильное действие, то ему выведется сообщение с подсказкой в нижней части экрана, подробнее об этом написано ниже по тексту статьи.

Пользователь свободно может переключаться между экраном с камерой и картой, однако если пользователь не прошел весь маршрут и вернулся на экран с картой, то ему придется строить маршрут заново т.к. маршрут не сохраняется. Схема экранных переходов представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема экранных переходов

Когда пользователь осуществляет переход из экрана с картой на экран с камерой, происходит передача данных о маршруте с помощью метода *Intent*, после чего полученные данные записываются в заранее подготовленные переменные и используются в коде. В классах с камерой и картой используются данные полученные с датчиков, это осуществляется путем запуска классов созданных для получения показателей с датчиков, для их запуска необходимо вызвать их метод *start()* и имплементировать интерфейс помощью которого происходит передача данных. Сразу же после открытия экрана с камерой происходит обработка данных, они поступают из интернета и датчиков в гад-

жете, после чего происходит загрузка экрана, на котором отображается камера и указатель пути к первому маркеру маршрута. Для того чтобы создать указатель необходимо использовать датчик ориентации, связать его с указателем, после чего необходимо найти азимут по выражению (1). Азимут необходим для того, чтобы найти угол между пользователем и маркером на карте.

$$\tan \varphi_{AB} = \left| \frac{y_{AB}}{x_{AB}} \right| \quad (1)$$

Для отображения объекта дополненной реальности необходимо знать как азимут, так и дистанцию, дистанция вычисляется по выражению (2).

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (2)$$

Чтобы приложением было проще пользоваться в программе есть константы для допустимых отклонений азимута и дистанции, они используются для того, чтобы объект было проще отобразить на камере. Когда пользователь находится в целевом диапазоне с учетом допустимых отклонений то выполняется условие отображения и на экране выводится объект дополненной реальности, после чего программа получает координаты о следующем маркере и проделывает эту же работу и для него. После того как будет пройден весь маршрут, произойдет переход на экран с картой, где можно будет построить другой маршрут.

Разработка программ. Разрабатываемое мобильное приложение «AR Навигатор» предназначено для формирования указателей пути к объекту с использованием карты и камеры в дополненной реальности. Приложение должно быть написано на языке программирования *Java* и иметь функционал, перечисленный в начале статьи. Работа приложения начинается с класса *MapActivity*, при инициализации данного класса у него вызывается метод *onCreate()* в котором приложение инициализирует карту подключается к службам *Google* и запрашивает доступ к текущему местоположению и вызывает срабатывание метода для работы с маркерами на карте. Для добавления карты во фрагмент используется метод *createMapView()*, подключаемый к службам *Google* и отображающий карту в случае успешного подключения к интернету, но если карту не удалось создать то выведется сообщение об ошибке. После добавления карты можно приступать к построению маршрута для этого необходимо знать координаты пользователя и добавить маркеры, соединенные линией, после чего необходимо получить широту и долготу устройства и присвоить их значение. В классе *CameraViewActivity* реализуется основная задумка программы, при переходе на это *Activity* срабатывает метод *OnCreate()* после чего происходит цепочка событий: получение данных о маршруте из класса *MapActivity*, вызов конструкторов класса *MyCurrentAzimuth* и *MyCurrentLocation* и выполнение их методов *start()*, инициализация элементов экрана и отображение камеры, создание экземпляра объекта дополненной реальности.

Обработка и вывод данных на экран происходит в классах *Activity*, после чего собранные данные передаются в необходимый класс посредством вызова методов из классов по сбору показаний. Для полноценного функционирования приложения нужны: смартфон с подключением к интернету и *GPS*; наличие необходимых датчиков в мобильном устройстве;

Если реальное устройство отсутствует, программу можно установить и проверить ее работоспособность на эмуляторе ОС *Android*. Для этого необходимо установить с официального сайта [16] базовый пакет инструментов *SDK*. После корректной установки запустить файл *SDK Manager.exe*. Далее необходимо проделать несложные манипуляции, чтобы запустить виртуальное устройство.

После того как устройство загрузится, можно приступить к установке программы. Файл разработанного приложения называется *RealityNavigator.apk*. После установки запуск приложения можно осуществить, выбрав иконку приложения из списка установленных приложений. Приложение «AR Навигатор» представляет из себя информационную систему указания пути с применением дополненной реальности. Перед запуском необходимо, чтобы устройство было подключено к сети интернет и *GPS*, для прорисовки карты и получения данных о местоположении устройства. Если возникла проблема с картой и она не отображается, то выведется сообщение «Ошибка при создании карты». При запуске приложения пользователь попадает на главный экран (рис. 2, а). На данном экране расположена встроенная *Google* карта, а также кнопки для управления приложением. При нажатии на кнопку «*My Location*» в верхнем правом углу идет загрузка данных о местоположении пользователя, камера центрирует карту по текущему местоположению. Если не удалось загрузить данные, то отобразится местоположение последней локации пользователя. На карте местоположение отображается в виде маленькой синей точки (рис. 2, б).

В нижней части экрана находятся 3 кнопки необходимые для использования приложения, а именно: построить маршрут, удалить маршрут, перейти в режим дополненной реальности. При нажатии на кнопку с картой «Построить маршрут», на карту добавляется 5 маркеров неподалеку от локации пользователя, соединенные между собой линией, они имеют нумерацию и их можно перемещать (рис. 2, в) если маршрут уже был добавлен, на экран выведется сообщение «Маршрут уже построен!». К каждому маркеру привязывается указатель в дополненной реальности. Если локация пользователя не была определена, на экран выведется сообщение «Подождите пока определится ваше местоположение». При нажатии на кнопку с изображением ластика «Удалить маршрут» происходит проверка условия, если на карте есть соединенные между собой маркеры, то она удаляются вместе с соединяющей их линией,

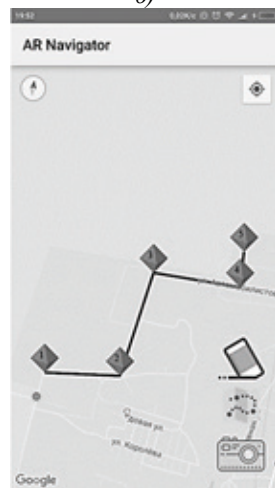
если на карте ничего нет, то выводится сообщение «Нельзя удалить маршрут».



a)



б)



в)

Рисунок 2 – Главный экран приложения «AR Навигатор» (a); отображение местоположения на карте (б); форма с построением маршрута (в)

При нажатии на кнопку с изображением камеры «Перейти в режим дополненной реальности» осуществляется переход на новое окно, на котором размещена камера (рис. 3, а). Перед нажатием необходимо, чтобы уже был построен маршрут, если его

нет, на экран выведется сообщение «Проложите маршрут!». При переходе в «Режим дополненной реальности» на экране появляется круг со стрелкой, который показывает направление к первой из пяти точек маршрута. Внизу экрана есть информация о том сколько пользователь прошел контрольных точек, дистанция до следующей точки и кнопка для перехода на экран с картой. Когда пользователь приходит к точке назначения на экране появляется изображение метки в дополненной реальности (рис. 3, б).



a)



б)

Рисунок 3 – Режим дополненной реальности (a);
Отображение AR объекта (б)

После отображения объекта дополненной реальности, информация внизу экрана обновляется и прокладывается маршрут к следующей точке, после этого AR объект остается на экране некоторое время, после чего пропадает. Когда пользователь дойдет до последней точки, работа программы выполнится и произойдет автоматический переход на экран с картой, где можно будет построить новый маршрут.

Основными входными данными для программы являются данные, получаемые через интернет и GPS, а также показания, собранные с датчиков. Для того чтобы работать с предлагаемой программой, необходимо обладать базовыми возможностями работы с сотовыми телефонами, у которых имеется сенсорный дисплей. Все взаимодействие с устройством происходит при помощи сенсорного дисплея.

Используемые подходы при разработке приложения убирают ряд действий, необходимых для технического обслуживания приложения. Но для поддержания стабильной работы необходимо периодически очищать оперативную и постоянную память устройства, проверять работу и доступность подключения к сети интернет и GPS. Программа была разработана и проверена на устройстве *Xiaomi Redmi 4*.

Заключение. По итогам проведенных исследований предложена система, реализующая определенные в цели функции. Программа позволяет с помощью мобильного устройства быстро и эффективно построить маршрут с применением дополненной реальности.

К достоинствам системы можно отнести использование перспективных мобильных технологий,

повсеместно набирающих популярность, лаконичность системы, простота их использования на обычном мобильном телефоне, интуитивно понятный пользовательский интерфейс.

К особенностям системы можно отнести установленную на мобильном устройстве ОС *Android*. Не каждый мобильный телефон работает под управлением данной ОС, но именно эта платформа в данный момент является самой популярной. Плюсом данной ОС является то, что выпускаются телефоны разной ценовой категории под ее управлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Цветков В.Я. Дополненная реальность // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-2. – С. 211-212.
2. Яковлев Б.С., Пустов С.И. Классификация и перспективные направления использования технологии дополненной реальности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 3. – С. 484-492.
3. Android [Электронный ресурс] – Android | Платформа, расширяющая возможности. – Режим доступа: https://www.android.com/intl/ru_ru/ свободный. Яз. русский. (дата обращения: 30.07.2020).
4. Azuma R. T. (1997) A Survey of Augmented Reality // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. Vol. 6, № 4. PP. 355–385.
5. Бойченко И.В., Лежанкин А.В. Дополненная реальность: состояние, проблемы и пути решения // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1-2 (21). – С. 161-165.
6. Иванова А. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 3 (108) – С. 88-107.
7. Егоров А.А. Одна из современных проблем дополненной реальности в портативных устройствах // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации: Материалы VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Т.А. Бирюковой. 2019. – С. 13-14.
8. Кураев Н.И. Цифровизация и приложения дополненной реальности // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации: Материалы VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Т.А. Бирюковой. 2019. – С. 15-16.
9. Чиркин А.Н., Пимонов А.Г. Представление возможностей компании с использованием приложения дополненной реальности // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Редколлегия: Д.М. Дубинкин [и др.]. 2019. – С. 101-102.
10. Noncharova N. Technology of Augmented Reality in Textbooks of New Generation // Проблемы сучасного підручника. – 2019. – № 22. – С. 46-56.
11. Павлова К.Т., Фалеева Е.В., Павлов Н.Г. Особенности способов взаимодействия пользователя и интерфейсов дополненной реальности // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XXXI Международной научно-практической конференции. 2020. – С. 92-94.
12. Голощапов А. Л. Google Android: программирование для мобильных устройств. БХВ-Петербург, 2011. – 804 с.
13. Майер Р. Android 2. Программирование приложений для планшетных компьютеров и смартфонов. Эксмо, 2011. –

671 с.

14. Дейтел П., ДейтелХ., Дейтел Э., Морган М. Android для программистов. Создаем приложения. Питер, 2012. – 560 с.

15. Сайт А. Климова [Электронный ресурс] – Android: собираем показания датчиков – Режим доступа: <http://developer.alexanderklimov.ru/android/sensors.php> свободный. Яз. русский. (дата обращения: 30.07.2020)

16. Google Maps API [Электронный ресурс] – Maps SDK for Android Utility Library | Google Developers – Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/documentation/android-api/utility/?hl=ru> свободный. Яз. русский. (дата обращения: 30.07.2020).

17. Эрих Гамма, Ричард Хелм, Ральф Джонсон, Джон Влиссидес. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. Питер, 2016. – 432 с.

18. Джейсон Мак-Колм Смит. Элементарные шаблоны проектирования. Питер, 2013. – 533 с.

19. Wearesocial [Электронный ресурс] – Digital around the world in April 2020 - We Are Social. – Режим доступа: <https://wearesocial.com/blog/2020/04/digital-around-the-world-in-april-2020> свободный. Яз. русский. (дата обращения: 05.05.2020).

20. AndroidDeveloper [Электронный ресурс] – Android Studio features | Для разработчиков Android. – Режим доступа: <https://developer.android.com/studio/features.html> свободный. Яз. англ. (дата обращения: 30.07.2020).

Статья поступила в редакцию 28.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 001.891

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0006

ОСЕВОЕ ВРЕМЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ: ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА АКТУАЛЬНОЙ ПУБЛИЧНОЙ НАУЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ

© 2020

Мельков Сергей Анатольевич, доктор политических наук, профессор,
заведующий кафедрой государственного и муниципального управления,

Салтыкова Марина Викторовна, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник НИЦ
Академия гражданской защиты МЧС России,
(141435 Московская область, г.о. Химки, мкр. Новогорск, ФГБВОУ ВО «АГЗ МЧС России»,
e-mails: 304304@mail.ru, saltuikovamarina@mail.ru)

Аннотация. Авторы продолжают серию статей, посвященных актуальному изменению наукометрической и библиометрической парадигме в России, выявляя как положительные аспекты общемировой научной коммуникации, проводя параллель с «осевым временем» К. Яспера, так и негативные изменения, связанные с манипулятивными пиар-технологиями повышения различных индексов научной активности. Авторы предлагают в качестве тем для научной дискуссии следующие вопросы и противоречия: насколько необходимо в цифровом пространстве продвижение научной деятельности ученых не для трансляции знаний, а с некой формальной целью, так как абсолютизация наукометрических индексов, которые зафиксированы как важнейшие показатели научной деятельности в правительственных официальных документах, породила массовые пиар-технологии. Возможно ли ограничиться национальными индексами цитирования или нужна международная система рейтинга значимости отечественных исследований; надо ли избегать самоцитирования, а если нет, то в какой степени это этично? Какова эффективность публичной оценки в нашей стране научной деятельности? Адекватна ли оценка индекса Хирша и Херфиндала по цитирующим журналам и другие актуальные вопросы новой парадигмы? В качестве одного из методов исследования был применен экспертный опрос.

Ключевые слова: Академия гражданской защиты, библиометрия, договорное цитирование, заимствования, индекс Хирша, критерии оценки, манипулятивные технологии, международные базы научного цитирования, МЧС России, наукометрическая парадигма, научная деятельность, некачественная публикация, Российский индекс научного цитирования, самоцитирование, транспарентный мир, финансовая оценка участия, экспертный опрос, электронный учет количества, эффективность публичной оценки.

AXIAL DIGITAL TRANSFORMATION TIME: EXPERTISE RELEVANT PUBLIC SCIENTIFIC COMMUNICATION

© 2020

Mel'kov Sergei Anatol'evic, dr.Sci.(Pol.Sci.), Professor, Head of the Chair of
Public and Municipal Administration

Saltykova Marina Victorovna, ph.D. in Pedagogic Sci., Senior Researcher,
Civil Defence Academy EMERCOM of Russia
(141435 Moscow region, g.o. Khimki, Novogorsk, Civil Defence Academy EMERCOM of Russia,
e-mails: 304304@mail.ru, saltuikovamarina@mail.ru)

Abstract. The authors continue a series of articles on the current change in the scientometric and bibliometric paradigm in Russia, identifying both the positive aspects of global scientific communication, drawing a parallel with the “axial time” of K. Jasper, and the negative changes associated with the manipulative technologies to increase various indices of scientific activity. The author proposes the following contradictions as topics for scientific discussion: is scientific communication the process of production and translation of knowledge and / or an element of PR in the mass media digital space; whether national citation indices are needed and / or they complement international systems; whether an adjustment of the concept is necessary or / and at least a mass explanation of what is the coefficient of self-citation (more than 40 is a negative indicator for the self-citation index). How does a «contractual» citation differ from a bona fide citation of the work of the head of a scientific school by its followers: what are the objective evaluation criteria? What is the importance of the Herfindahl index for citing journals and others. An expert survey method was applied.

Keywords: Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, scientometric paradigm, bibliometry, evaluation criteria, manipulative technologies, Hirsch index, international databases of scientific citation EMERCOM of Russia, scientometric paradigm, scientific activity, poor-quality publication, Russian index of scientific citation, self-citation, transparent world, financial assessment of participation, expert survey, electronic accounting of quantity, effectiveness of public evaluation, contractual citation, borrowings.

Введение. Актуальность темы исследования определяется несколькими обстоятельствами. Во-первых, наша страна по многим наукометрическим показате-

лям (например, по количеству научных публикаций на английском языке и некоторым другим) отстает от многих государств мира. И это реальный факт, кото-

рый отмечается на международных и национальных научных конференциях, семинарах, круглых столах, в исследованиях и экспертных разработках [1, с. 97-100].

Во-вторых, само по себе количество научных публикаций и цитирований этих научных публикаций другими учеными не может являться самоцелью для ученых, экспертов, педагогов и управленцев. Очевидно, что многие ученые и администраторы сегодня предъявляют справедливые претензии к «научометрическому подходу» оценки качества научной деятельности. Однако до сих пор, во всяком случае, в нашей стране, не выработаны альтернативные научометрическим критерии и показатели оценки научной деятельности, позволяющие оптимально оценить ее эффективность. То есть мы идем так называемым «западным» путем в оценке эффективности научной деятельности.

В-третьих, во всем мире сегодня отмечается тенденция снижения доверия населения стран мира к науке, в принципе, к научному, к экспертному знанию. Нам понравилась постановка проблемы американским политологом Т. Николсом, которую свою книгу так и назвал: «Смерть экспертизы: как интернет убивает научные знания». Он справедливо, полагаем, пишет, что ученый не может ориентироваться на мнение большинства, как обязаны делать политики, но он обязан ориентироваться на результаты исследований, как правило, в узкоспециализированной области [2, с. 31-32]. И еще одну важную мысль Т. Николса приведем здесь: «Я выступаю категорическим противником якобы банальности (многие люди именно так и считают), что «специализация – удел насекомых» [2, с. 36].

В-четвертых, сегодня многие исследователи пишут о том, что критический стиль мышления, ранее присущий ученым, сегодня взят на вооружение многими гражданами массового общества, и это приводит к трансформации критического мышления в «беспощадную критику», которая направлена, в первую очередь, против ученых, экспертов, иных узких специалистов [2, с. 159]. Если говорить о политиках, то такая трансформация, как правило, приводит к откровенному популизму – «прямому заигрыванию с широкими массами народа, раздачи необоснованных обещаний с целью приобрести популярность, например, в предвыборной борьбе».

В пятых, сегодня многие научные ресурсы нашей страны (например, научная электронная библиотека *ELIBRARY.RU*) предпринимают поистине титанические усилия по борьбе с некачественными научными публикациями, плагиатом, некорректными заимствованиями, и т.д. А ведь сегодня «РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) – это национальная библиографическая база данных научного цитирования, аккумулирующая более 12 миллионов публикаций российских авторов, а также информацию о цитировании этих публикаций из более 6000 российских журналов. Она предназначена не только для оперативного обеспечения научных исследований актуальной спра-

вочно-библиографической информацией, но является также мощным аналитическим инструментом, позволяющим осуществлять оценку результативности и эффективности деятельности научно-исследовательских организаций, ученых, уровень научных журналов и т.д.» [3].

Проблематизация. Сформулируем исследовательскую проблему следующим образом. Сегодня научными методами необходимо выяснить: какие меры следует предпринять научному и педагогическому сообществам с целью качественного улучшения научной деятельности современных российских вузов и научных организаций, особенно в условиях виртуализации научной деятельности и цифровизации механизмов ее учета.

Методы и анализ исследования: экстраполяция, экспертный опрос, аналоговое моделирование, анализ и синтез, обобщение.

Теоретико-методологический анализ проблемы. Начало XXI века для науки и высшего образования как в России, так и во всем мире является порой кардинальной смены парадигмы наукометрии, в данном случае управленческой, на основе цифровых технологий. Какую параллель в истории человечества можно провести, говоря о такой общемировой коммуникации в целом? Как это может показаться ни парадоксально – в глубокой древности.

В книге К. Ясперса «Смысл и назначение истории» введено понятие «осевого времени», это период считается примерно между 800 до 2000 гг. до н.э. В эту эпоху возникли абсолютно новые духовные движения по всему миру, начиная с Древней Греции, Индии, Палестины, Персии и заканчивая Китаем. Именно в это время был сформирован, по Ясперсу, тот человек, который существует и ныне. «Осевая эпоха» – это время рождения и формирования мировых религий, которые пришли на место язычества и мифологическому сознанию, возникла научная рефлексия взамен императивного опыта, следовательно, началась рационализация бытия. «*Постоянное общение* (выделено автором) способствовало интенсивному духовному движению в каждом из трех миров. Китайские философы (Конфуций, Мо-цзы и другие) странствовали, чтобы встретиться друг с другом в знаменитых, благотворных для духовной жизни центрах (они основывали школы, которые синологи называют академиями) совершенно так же, как странствовали софисты и философы Эллады и как всю свою жизнь странствовал Будда» [4, с. 35].

Несомненно, что в цифровую эпоху глобализации существуют все те же межличностные, межкультурные и межнациональные проблемы, что и много веков назад, хотя инструментарий общения стал куда более совершенным благодаря цифровым технологиям: «...в основе ясперсова призыва к экзистенциальной коммуникации... лежит понимание глубокого одиночества людей в эпоху ослабления между ними всех традиционных связей – религиозных, национальных, семейных, наконец, духовных, объединявших неког-

да научные сообщества, философские кружки, художественные школы» [4, с. 12]. Таким образом, встает научная проблема, обозначенная в названии этой статьи, нуждающаяся в детальном рассмотрении и всестороннем анализе как на индивидуальном, так и на уровне всего научно-педагогического сообщества Российской Федерации.

С начала XXI века Россия входит в новый формат цифровой международной библиометрии и наукометрии. Так, обратимся к краткому историческому экскурсу: «российский индекс научного цитирования был создан только в 2005 году. А систему «Антиплагиат.ВУЗ» разработали программисты компании-разработчика *Forecsys*, образованной в 2000 году последователями научной школы академика Ю. И. Журавлева. База источников обновляется новыми документами примерно 1 раз в месяц. Система постоянно совершенствуется. За последние 2-3 года произошли кардинальные изменения в Научной электронной библиотеке (далее – НЭБ): исключены из Российского индекса научного цитирования (далее – РИНЦ) 344 журнала и 8 тысяч трудов заочных конференций» [5]. Предполагалось и в 2020 г. исключить и другие недобросовестные «научные» труды, как, например, коллективные монографии.

Почему так важно в эпоху глобальных перестроек соблюдать международную публикационную этику в качестве составной части научной этики? «Этика – это профилактика конфликтов, своего рода страховка не только своей научной репутации, но и репутации организации, которую представляет автор. Существующие ныне международные положения соответствуют этическим принципам, принятым Комитетом по публикационной этике (*COPE*) (<http://publicationethics.org>)» [5]. Также особенно важно учитывать интересы тех, кто не участвует в публикационном процессе непосредственно. Эти важные проблемы, такие, например, как принципы добросовестной работы в системе «Антиплагиат. ВУЗ», принципы публикационной этики и этоса, проблемы плагиата и «договорного» цитирования и многие другие, не остаются без научного внимания, а также оценки и анализа специалистами [5-9; 13-19].

Мы также неоднократно анализировали эти системные риски в своих публикациях, однако ряд противоречий все еще остается и нуждается в глубокой научно-методической проработке. Кстати, заметим, что если мы дадим ссылки на все наши работы, которые могут заинтересовать коллег, посвященные этой теме, то система может рассмотреть подобные усилия как способ повышения индекса Хирша [20] за счет самцитирования, поэтому мы вынуждены дать ссылку на ограниченное количество наших работ [5; 9].

Российский индекс научного цитирования (далее – РИНЦ) имеет две основные задачи – это и национальный реестр публикаций российских ученых, и инструмент оценки как индивидуальной, личной публикационной активности, так и активности научных организаций, а также журналов на основе цитируемо-

сти публикаций. Абсолютизация наукометрических индексов, которые зафиксированы как важнейшие показатели научной деятельности в правительственных официальных документах, породила пиар-технологии продвижения этого контента. «Введение данной метрики Х. Хирш аргументировал ее предпочтительностью перед такими критериями оценки, как количество работ, деленное на общее количество цитирований, или количество цитирований, приходящихся на одну работу» [10].

Многие ведущие вузы страны ведут борьбу с таким «договорным» цитированием и «накруткой» индивидуальных показателей за счет манипулятивного повышения международных индексов цитируемости. «Индекс цитируемости (не путать с индексом цитирования), принятый в международном научном сообществе, – показатель «значимости» научных трудов ученого или научной организации, представляющий собой суммарное количество ссылок на его (ее) публикации в реферируемых научных периодических изданиях (подсчитывается в специальных наукометрических базах данных: *Web of Science*, *Scopus* – зарубежные, РИНЦ – российская)» [11]. Мы также подробно ранее рассмотрели его плюсы и минусы в ряде научных статей, посвященных актуальным проблемам наукометрии.

Так как эти технологии абсолютно новые для отечественной наукометрии, то имеет смысл, на наш взгляд, ознакомиться с различными способами решения этих проблем. Например, рассмотрим детали требований НИУ ВШЭ, представленных на сайте вуза в разделе «Оценка публикационной активности научных сотрудников НИУ ВШЭ» [12]. «Под публикацией понимается изданное произведение, подготовленное с соблюдением академических стандартов построения и оформления текста, опубликованное издательствами в печатном виде или на электронных носителях, имеющие номер *ISBN* или *ISSN*, редактора и установленный тираж» [12, с. 5]. Количество баллов до 18 («Статья (обзор) в научном журнале, индексируемом хотя бы в одной из баз *WoS/Scopus* в квартилях Q1-Q2, хотя бы по одной из тематических рубрик, и не входящим в «чёрный» список журналов») [12, с. 8].

Обязательными критериями при переработке научных трудов, учебников, монографий и т.д. является требование не менее 30 процентов новизны. Необходимо также аффилированность с НИУ ВШЭ, при отсутствии одной публикация не засчитывается. «Общественная комиссия вправе принять решение не учитывать публикации из журнала, в котором будут обнаружены признаки недобросовестности (в том числе взимание платы за упрощение процесса публикации, симуляция рецензирования, публикации с отсутствующими, краткими либо бессодержательными списками литературы, не соответствующие структуре научного текста, и т.д.)» [12, с. 6].

Итак, подводя промежуточные итоги, можно сделать вывод о том, что цифровые изменения во всех областях жизни, а не только в отечественной науко-

метрии, неизбежны. Совершенно очевидно, что не все коллеги, представители научно-педагогического сообщества, разобрались еще в новых нюансах наукометрии, однако этот процесс, несомненно, требует вдумчивого и целенаправленного методического изучения. Необходимо помнить, что количественная наукометрическая информация – это инструмент, а не самоцель. Тайное всегда становится явным: соблюдение публикационной этики – способ предотвращения конфликтов, которые возникают, в частности, при попытках использования манипулятивных технологий, а также некорректных обходов различных наукометрических цифровых структур [13-19].

Проведение авторских замеров. В научно-исследовательском центре и на кафедре государственного и муниципального управления Академии гражданской защиты МЧС России авторами статьи была организована экспертная оценка эффективности мер (предложений) научной электронной библиотеки *eLIBRARY.RU* по повышению эффективности публичной оценки в нашей стране научной деятельности.

В связи с этим авторы статьи попросили экспертов оценить в нижеприведенной таблице степень публичной эффективности предложений библиотеки *eLIBRARY.RU* по пятибалльной шкале: от «не эффективно» до «эффективно». Но фактически эксперты оценивали потенциальную эффективность не всех, а только 12 предложений (внимательно работающий на сайте этой библиотеки читатель или научный ра-

ботник достаточно быстро поймёт полифункциональность этих предложений).

Для этого экспертам было необходимо выбрать одну из пяти оценок (по горизонтали) и поставить какой-либо знак (крестик, кружок, галочку, цифру или иной значок) в соответствующем поле. Фамилию указывать было не нужно, так как результаты планировалось обработать в обобщенном виде и затем представить в научное пространство в виде статьи. Каждый эксперт мог высказать (написать) своё личное мнение любого объема.

Экспертами выступили педагоги трех гуманитарных кафедр Академии гражданской защиты МЧС России (Государственного и муниципального управления; Рекламы и связей с общественностью; Философии, истории и культурологии). Перечислим участвовавших в опросе педагогов: Арабидзе И. Т., Белоусов М. Г., Данкова Ж. Ю., Демченко С. В., Зверева Т. В., Лябах А. Ю., Малека Ю. Н., Мельков С. А., Рязяпов Н. Х., Сасим А. В., Стоянов А. С., Сушанский А. С., Устюжанинова Е. В., Черных И. И., Шевель П. П. ($n=15$).

Полученные итоги отображены в таблице 1. Подсчет результатов велся по диагонали. Ответы «не эффективно» и «скорее не эффективно» считались в минус, ответы «эффективно» и «скорее эффективно» считались в плюс. Ответ «затрудняюсь ответить» считался в ноль и, при необходимости, указывался и комментировался отдельно.

Таблица 1 – Предложения научной электронной библиотеки *eLIBRARY.RU* (по степени эффективности публичной оценки в нашей стране научной деятельности)

№ п/п	Некоторые научные положения для оценивания	Экспертные оценки						Частное мнение эксперта
		Не эффективно	Скорее не эффективно	Затрудняюсь ответить	Скорее эффективно	Эффективно	Итого	
1.	Запуск в нашей стране проекта РИНЦ (общая оценка проекта).	1	1	1	9	3	+10	
2.	Введение электронного учета количества научных публикаций для каждого автора.		1	1	5	8	+12	
3.	Введение электронного учета количества научных публикаций для каждого периодического издания (например, журнала).	1	1	1	4	8	+10	
4.	Введение электронного учета количества научных публикаций для каждого вуза или научного учреждения/организации.		2	2	2	9	+9	
5.	Введение электронного учета количества цитирования научных публикаций для каждого автора.		4		5	6	+7	
6.	Введение электронного учета количества цитирования научных публикаций для каждого периодического издания (например, журнала).	1	4	1	4	5	+4	
7.	Введение электронного учета количества цитирования научных публикаций для каждого вуза или научного учреждения/организации.		4	1	5	5	+6	
8.	Введение публичного РИНЦ как наукометрического показателя для лиц, занимающихся научной деятельностью.	1	2	1	9	2	+8	
9.	Обязательное регулярное проведение методических семинаров (обучающих тренингов) для сотрудников, преподавателей и обучающихся АГЗ по наукометрической и библиометрической проблематике.		2	5	3	5	+6	
10.	Закрепление в нормативно-правовом акте АГЗ нормирования (например, минимально необходимого) показателя самоцитирования.	1	4	6	2	2	-1	
11.	Закрепление в нормативно-правовом акте АГЗ нормирования (например, минимально необходимого) Индекса Хирша.	1	5	5	2	2	-2	
12.	Закрепление в нормативно-правовом акте АГЗ нормирования числа публикаций (например, минимально необходимого), процитировавших работы автора из АГЗ.	1	2	3	3	5	+5	1 эксперт: эффективно, но не этично

Результаты исследования. Заметим, что предложения с 1-го по 9-е и 12-е находятся в плюсе, то есть получили поддержку экспертов. Не будем их здесь подробнее перечислять (см. таблицу 1). То есть мы считаем, что данные предложения более эффективны для публичной оценки в нашей стране научной деятельности.

И только предложения 10-е и 11-е экспертную поддержку не получили. Это «закрепление в нормативно-правовом акте вуза нормирования (например, минимально необходимого) показателя самоцитирования» и «закрепление в нормативно-правовом акте АГЗ нормирования (например, минимально необходимого) Индекса Хирша». Получается, что скорее всего мы считаем, что данные предложения более эффективны для публичной оценки в нашей стране научной деятельности. Част-

ное мнение эксперта по 12-му предложению изложено в таблице 1.

На основании проведенной интерпретации полученных по первой анкете результатов авторы статьи сформулировали собственные предложения по повышению эффективности оценки качества научной деятельности в Академии гражданской защиты МЧС России. Затем снова тем же пятнадцати экспертам также по пятибалльной шкале было предложено оценить потенциальную эффективность этих предложений (табл. 2). $N=15$.

Подсчет результатов велся также по диагонали. Ответы «не эффективно» и «скорее не эффективно» считались в минус, ответы «эффективно» и «скорее эффективно» считались в плюс. Ответ «затрудняюсь ответить» считался в ноль и, при необходимости, указывался и комментировался отдельно.

Таблица 2 – Предложения по повышению эффективности оценки качества научной деятельности в Академии гражданской защиты МЧС России

№ п/п	Некоторые предложения для оценивания	Экспертные оценки					итог
		Не эффективно	Скорее не эффективно	Затрудняюсь ответить	Скорее эффективно	Эффективно	
1.	Издание в АГЗ локального акта, регламентирующего степень оригинальности выпускных квалификационных работ, курсовых, контрольных работ, рефератов и иных письменных работ обучающихся.		2	2	5	6	+9
2.	Издание в АГЗ локального акта, регламентирующего степень оригинальности научных изданий/публикаций научно-педагогического состава и обучающихся (НИР, научных статей, материалов научных конференций, семинаров, круглых столов, Дней научного творчества, и т.д.).		1	2	9	3	+11
3.	Издание в АГЗ локального акта, регламентирующего финансовую оценку участия научного руководителя (адъюнкта, аспиранта, магистра, специалиста, бакалавра) в подготовке научной статьи обучающегося (в случае, если руководитель не является соавтором статьи).		1	3	3	8	+10
4.	Издание в АГЗ локального акта, регламентирующего наличие научной школы в вузе.	2	1	2	4	6	+7
5.	Издание в АГЗ локального акта, регламентирующего научную деятельность руководителя магистерской программы.		2	5	4	4	+6
6.	Издание в АГЗ локального акта, регламентирующего редакционную и организационную деятельность главного редактора, редакторов и рецензентов научных журналов и иных изданий (сборников научных конференций, семинаров и круглых столов) при обязательном условии их размещения в РИНЦ.		2	2	7	4	+9
7.	Обязательное проведение методических семинаров (обучающих тренингов) для сотрудников, преподавателей и обучающихся по наукометрической и библиометрической проблематике.		1	1	9	4	+12
8.	Повышение НЕ финансовой значимости публикаций (за авторством сотрудников и обучающихся АГЗ) в изданиях, входящих в международные базы научного цитирования.	3	1	3	7	1	+4
9.	Более высокая финансовая оценка публикаций (за авторством сотрудников и обучающихся АГЗ) в изданиях, входящих в международные базы научного цитирования.			1	3	11	+14
10.	Постоянное доведение позиции Минобразования и руководства АГЗ о «доброе-совестных» научных изданиях и международных базах научного цитирования.	1	2	2	4	6	+7

Все авторские предложения по повышению эффективности оценки качества научной деятельности в Академии гражданской защиты МЧС России нашли поддержку у экспертов.

Нас еще заинтересовало частное мнение одного из экспертов: «Много поставила ответов «затрудняюсь ответить». Но, на мой взгляд, оценка эффективности

это в первую очередь наличие технологических инструментов (показателей, методик расчета их, методики оценки как таковой и т.д.), которые или отсутствуют сейчас, или используются не в полной мере, либо субъективно. В предлагаемых вариантах решения проблемы видится некоторая односторонность, уход в организационно-правовые аспекты проблемы».

Заключение. Общие выводы по статье:

1. Сформулированная авторами проблема «необходимости выработки мер научным и педагогическим сообществом с целью качественного улучшения научной деятельности современных российских вузов и научных организаций, особенно в условиях виртуализации научной деятельности и цифровизации механизмов ее учета» действительно существует. Что подтвердил авторский теоретико-методологический анализ и экспертный опрос.

2. Большинство экспертов поддержало большинство предложений электронной библиотеки *eLIBRARY.RU* по повышению эффективности публичной оценки в нашей стране научной деятельности, за исключением двух из них. Также все эксперты поддержали авторские предложения по повышению эффективности оценки качества научной деятельности в Академии гражданской защиты МЧС России.

3. Количественная наукометрическая информация – это инструмент, а не самоцель.

4. Считаю, что научные исследования в этом направлении следует продолжать. Также необходимо, на наш взгляд, проведение регулярных методических семинаров (обучающих тренингов) для сотрудников, преподавателей и обучающихся по наукометрической и библиометрической проблематике в связи со сменой парадигмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Наука и власть: проблемы коммуникаций // Материалы Всероссийской научной конференции (Москва, 26 сентября 2008 г.) / Редакция-издат. группа: С. С. Сулакшин, Е. С. Сазонова, И. Ю. Колесник, и др. – М.: Научный эксперт, 2009. – 456 с.
2. Николс Т. Смерть экспертизы: как интернет убивает научные знания / Т. Николс; пер. с англ. Т. Л. Платоновой. – М.: Эксмо, 2019. – 368 с.
3. Российский индекс научного цитирования [Электр. ресурс] // Научная электронная библиотека *eLIBRARY.RU*. Режим доступа: https://elibrary.ru/project_risc.asp (дата обращения: 27.04.2020).
4. Ясперс К. Смысл и назначение истории / пер. с нем. – М.: Политиздат, 1991. – 527 с.
5. Салтыкова М. В. Актуальные проблемы наукометрии: объективные критерии оценки // XXX Международная научно-практическая конференция «Предотвращение. Спасение. Помощь»: матер. конф. Химки, 2020. – С. 29-34 [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42884556> (дата обращения: 03.07.2020).
6. Кириллова О. В. Редакционная подготовка научных журналов по международным стандартам. Рекомендации эксперта БД Scopus. – М., 2013. Ч. 1. – 90 с.
7. Михайлов О. В. Критерии и параметры объективной оценки качества научной деятельности // Вестник Российской академии наук. 2011. Т. 81. № 7. – С. 622-625.
8. Жукова И. А. Индекс научного цитирования – трансформация практик применения (от инструмента библиографического поиска к инструменту оценивания) // Социология: методология, методы, математическое моделирование. 2012. № 34. – С. 054-080.
9. Салтыкова М. В., Сулима Т. Г. Публикационная этика в издательском процессе: проблемы плагиата и оформления научных материалов // Вестник НЦ БЖД. 2019. № 3 (41). – С. 54-61.

10. Об утверждении Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года: распоряжение Правительства РФ от 08.12.2011 № 2227-р [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=123444> (дата обращения: 11.05.2020).

11. Хорина В. Показатели эффективности научной деятельности учёного и организации (наукометрические индексы): основные термины и понятия [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://kgau.ru/new/biblioteka/17/8/1.pdf> (дата обращения: 03.07.2020).

12. Оценка публикационной активности – Высшая школа экономики [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://www.hse.ru/science/our/evaluation> (дата обращения: 11.05.2020).

13. Методические рекомендации. Экспертная оценка курсовых, выпускных квалификационных и других учебных работ на заимствования с помощью системы «Антиплагиат» (ред. от 20.05.2020) [Электр. ресурс]. Режим доступа: https://www.antiplagiat.ru/methodology/download/Methodical_recommendations_2018.pdf (дата обращения: 03.07.2020).

14. Суворова М. Кто не спрягался, я не виноват [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://www.unkniga.ru/innovation/tehnology/9514-kto-ne-spryatalsya-ya-ne-vinovat.html> (дата обращения: 03.07.2020).

15. Чехович Ю. В. Самоцитирования – корректные и некорректные [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://www.unkniga.ru/innovation/tehnology/8997-samcitirovaniyakorrektnye-i-nekorrektnye.html> (дата обращения: 06.07.2020).

16. Новые возможности системы Антиплагиат для эффективной работы [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=9XwqSOJf0LM&feature=youtu.be> (дата обращения: 07.06.2020).

17. «Трое в лодке, нищета и собаки», или Как «Антиплагиат» ищет парафраз [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/antiplagiat/blog/422941/> (дата обращения: 06.07.2020).

18. Так систему не обойти [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/antiplagiat/blog/480580/> (дата обращения: 06.07.2020).

19. Принципы добросовестной работы пользователей системы «Антиплагиат» [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://hse.antiplagiat.ru/page/honestymanifest/> (дата обращения: 06.07.2020).

20. Hirsch J.E. An index to quantify an individual's scientific research output // Proc. Of the National Acad. Sci. USA. 2005. V. 102. No. 46. – P. 16569-16572.

Статья поступила в редакцию 08.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 004.02

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0007

МЕТОДИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕМПОРАЛЬНОГО КОНЕЧНОГО АВТОМАТА В СП-МОДЕЛЬ

© 2020

Трокоз Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, проректор по научной работе
Пензенский государственный технологический университет

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

Бикташев Равиль Айнулович, кандидат технических наук,
профессор кафедры «Вычислительная техника»

Синев Михаил Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительная техника»

Федяшов Марк Сергеевич, студент кафедры «Вычислительная техника»

Шеянов Николай Николаевич, студент кафедры «Вычислительная техника»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40,

e-mails: bra559620@sura.ru, mix.sinev@gmail.com, mark02042001@mail.ru, shnn1998@gmail.com)

Аннотация. Одним из наиболее популярных механизмов для описания или построения алгоритмов является конечный автомат, сочетающий в себе относительную наглядность и простоту построения. Тем не менее процессы в виду своей физической природы не протекают мгновенно, а длятся определённый промежуток времени. В данном случае можно прибегнуть к использованию разновидности временных конечных автоматов. Наряду с конечными автоматами в современных методах моделирования используют сети Петри – мощную математическую модель, способную представить класс алгоритмов любой сложности. Цель данной статьи заключается в описании алгоритма преобразования временного конечного автомата в сеть Петри, содержащую ингибиторные дуги. Данный способ является универсальным, а, следовательно, становится возможным переходом от конечных автоматов к сетям Петри, когда последние становятся более удобны для моделирования процессов.

Ключевые слова: временные конечные автоматы, сети Петри, преобразование в сети Петри, математическая модель, алгоритм.

CONVERSION METHODOLOGY TEMPORAL FINAL STATE MACHINE INTO PETRI NETS

© 2020

Trokoz Dmitrii Anatolevich, candidate of technical sciences, vice-rector for research
Penza State Technological University

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

Biktashev Ravil Ainulovich, candidate of technical sciences,
professor of sub-department «Computer Engineering»

Sinev Mikhail Petrovich, candidate of technical sciences,
associate professor of sub-department «Computer Engineering»

Fedyashov Mark Sergeevich, student of sub-department «Computer Engineering»

Sheyanov Nikolay Nikolaevich, student of sub-department «Computer Engineering»

Penza State University

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

e-mails: bra559620@sura.ru, mix.sinev@gmail.com, mark02042001@mail.ru, shnn1998@gmail.com)

Abstract. Final state machine(FSM) is one of the most popular thing for describing or developing an algorithm, because it easy for perception and building. Nonetheless processes with their physical nature don't pass instantly and last defined time interval. In this case we can use temporal kind of final state machines. Along with final state machine in modern modeling methods are used Petri nets – powerful mathematical model that able to represent the most difficult algorithm types. The purpose of the article is describing of temporal final state machine conversion into an inhibitory Petri nets. The method is universal, that's why it is possible go to Petri nets from final state machines when Petri nets are useful for process modeling.

Keywords: temporal final state machines, Petri nets, conversion into Petri nets, mathematical model, algorithm.

Введение. В настоящее время широкое применение нашла такая модель вычислений [1, 2], как конечные автоматы. Тем не менее, конечные автоматы могут оказаться крайне объемными, иметь большое количество состояний и переходов, которые, в сути своей, дублируются, дабы не нарушать правильность построения конечного автомата. Такая ситуация мо-

жет наблюдаться при создании конечных автоматов, в основе которых заложена модель параллельных вычислений, или же для конечных автоматов, которые отображают возможное поведение пользователя в некоей программной системе, где состояния – это окна какого-либо приложения, а рёбра – возможные переключения между нынешним окном и последующими.

Таким образом, нам необходима некая математическая модель, которая будет проще для представления состояний и переходов, которые могут дублироваться. Известным решением являются сети Петри [3, 4]. Сети Петри представляют собой двудольный ориентированный граф [5, 6], в котором позициям соответствуют вершины, изображаемые кружками, а переходам - вершины, изображаемые прямоугольниками (рис. 1). Также оригинальные сети Петри были расширены такими элементами как ингибиторные (запрещающие) дуги. Дуги могут быть одновременно инцидентны тем вершинам, которые принадлежат разным классам. В позициях могут размещаться метки (фишки), способные перемещаться по сети через переходы. Выполнением сети Петри управляют количество и распределение фишек сети. Фишки находятся в кружках и управляют выполнением переходов сети [7].

Материалы и результаты исследования. Теория сетей Петри изначально были разработаны для работы с параллельными и асинхронными вычислениями. Основанная в начале 60-х годов немецким математиком К. А. Петри теория в настоящее время содержит большое количество средств анализа, имеющих огромное количество программного обеспечения практически во всех отраслях вычислительной техники и даже вне ее [8].

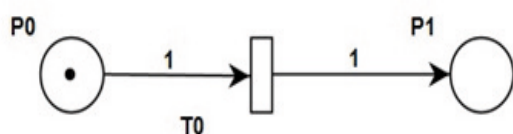


Рисунок 1 – Простейшая сеть Петри

Сети Петри – это мощная математическая модель, которая при правильном использовании может значительно облегчить разработку вычислительных систем любой сложности.

Конвертирование конечного автомата в сеть Петри. В общем случае временной конечный автомат [9] характеризуется состоянием, которое может описывать некий протекающий во времени процесс, и дугами, соединяющими состояния. В реальных системах процесс может длиться определённое время [10]. Для временного автомата введём счётчик, который инкрементируется каждый такт времени dt [11]. С каждым состоянием связано число t , обозначающее длительность процесса. По появлении входного символа осуществляется переход к соответствующему состоянию, обнуляется счётчик. С этого момента счётчик привязан к активному текущему состоянию [12, 13]. Переход в следующее состояние возможен только после того, как счётчик достиг значения не менее t . Для более универсального использования модели введём сигналы, которые могут прервать выполнение текущего процесса и перейти к другому состоянию. Так же скажем, что рассматривать мы будем лишь детерминированную разновидность конечных автоматов.

Такие автоматы представляют из себя множество

$M=(S, S_0, X, T, Y, \delta, \lambda)$, где: S - множество внутренних состояний S (внутренний алфавит); S_0 - начальное состояние; X - множество входных сигналов X (входной алфавит); T - множество временных меток T ; Y - множество выходных сигналов Y (выходной алфавит); δ - функция переходов автомата из одного состояние в другое $\delta: S \times X \rightarrow S$; λ - функция формирования выходных символов $\lambda: S \times X \rightarrow Y$.

Таким образом, задав данные множества и функции, для которых элементы множества выступают в качестве аргументов, мы можем получить временной конечный автомат.

Сеть Петри как математическая модель является множеством $P=(S, T, W, \mu_0)$, где S - конечное множество мест (позиций); T - конечное множество переходов; W - мультимножество дуг (из S в T и из T в S); μ_0 - начальная разметка в сети (расположение фишек);

Последовательно будем рассматривать элементарные составляющие временных конечных автоматов, такие как безусловные переходы, условные переходы по времени, петли и т.д., после чего опишем преобразование временных КА в сети Петри с помощью представленных механизмов.

Безусловный переход. Безусловный переход представляет собой дугу (a_i, a_j) . Для состояний a_i и a_j построим эквивалентные состояния p_i и p_j . Для самой дуги построим $T_i \in T$, $w_i=(p_i, T_i)$, $w_j=(T_i, p_j)$. С данным переходом не ассоциировано входных символов, причём, если вершина a_i имеет безусловный переход, то свойство детерминированности конечного автомата гарантирует нам, что это единственное ребро для a_i . Таким образом, добавив во множество σ элемент T_i , соответствующий данному переходу, мы перейдём из p_i в p_j (рис. 2).

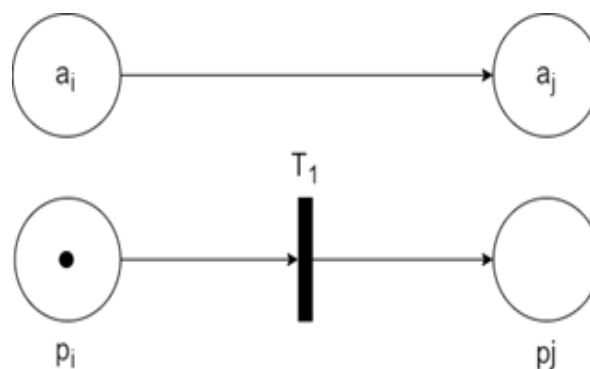


Рисунок 2 – Конвертирование безусловного перехода

Условный переход и петля. Условный переход во временном конечном автомате – это дуга (a_i, a_j) и ассоциированная с ней x_j , где a_i и a_j – начальное и конечное состояние соответственно, z_k – входной символ, при котором осуществляется переход из a_i в a_j . В контексте сетей Петри для a_i и a_j мы построим p_i и p_j – вершины типа «позиция» [14, 15], а вместо дуги построим $T_i \in T$, $w_i=(p_i, T_i)$, $w_j=(T_i, p_j)$. Также, чтобы отличать условный переход от безусловного, мы введём вершину типа позиция $x_j \in S$. Данная вершина будет иметь фишку в случае, когда подан сигнал x_j (рис. 3).

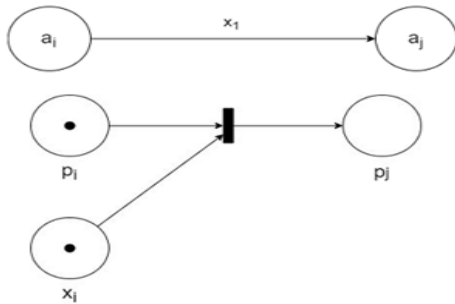


Рисунок 3 – Условный переход

Помимо обычного сигнала x_1 для каждого состояния может существовать его отрицание $!x_1$, по условию которого необходимо перевести автомат в другое состояние [16, 17]. Для этого дополнительно введём переход T_f и состояние p_k , в которое переходит автомат, когда на его вход поступает символ $!x_1$. Затем построим дуги (p_i, T_f) – обычная дуга и (x_i, T_f) – ингибиторная дуга, которая запрещает переход в случае, если на входной позиции имеются фишки (рис. 4). Таким образом, нахождение фишки в позиции x_i будет соответствовать пришедшему на вход конечного автомата сигналу.

Зачастую возникают ситуации, когда в случае подачи на вход отрицания ожидаемого сигнала нам необходимо вернуться в исходное состояние. В конечных автоматах данную функцию выполняет петля, отличие которой от перехода заключается в том, что $a_i = a_j$. Для конвертирования данного участка мы сделаем следующее: построим дополнительный переход T_f , затем проведём дуги (p_i, T_f) и (x_i, T_f) , причём (x_i, T_f) будет являться ингибиторной дугой, которая запрещает переход, если на входных позициях имеются фишки, и разрешает его, если фишки отсутствуют (рис. 5).

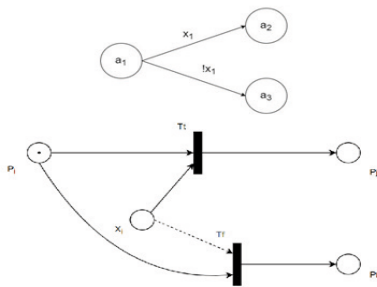


Рисунок 4 – Условный переход по сигналу и его отрицанию

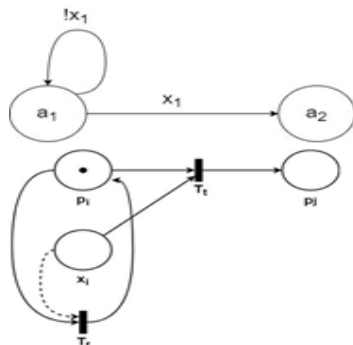


Рисунок 5 – Условный переход с петлёй

Построение условного перехода без использования ингибиторных дуг. Использование ингибиторных дуг может привносить избыточную сложность в сеть Петри, поэтому возможно построить сеть Петри, эквивалентную конечному автомату, без использования запрещающих дуг [18]. Построим дополнительную позицию, обозначающую сигнал $!x_1$, и соединим с переходом T_f . Также соединим переходы T_i и T_f с x_1 и $!x_1$ для сохранения сигнала. Таким образом можно преобразовать все ингибиторные дуги в конечном автомате (рис. 6).

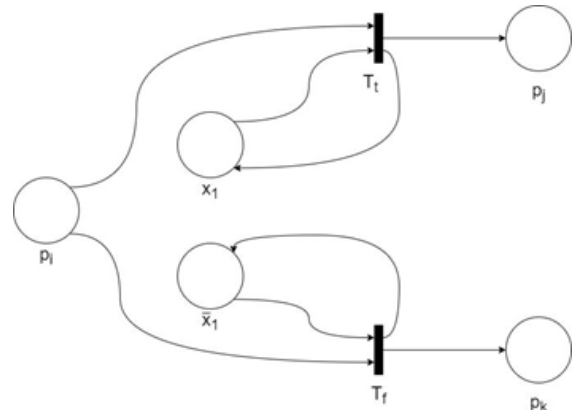


Рисунок 6 – Построение условных переходов без использования ингибиторных дуг

Построение сетей Петри, эквивалентных временному конечному автомату. Прежде всего определим правила взаимодействия внешней системы с данной сетью. Внешняя система может устанавливать фишки в позиции, отвечающие за поступление сигналов x_1, x_2, \dots, x_n , а также в позицию $Ptick$, в которую каждый интервал времени dt помещается фишка. По поступлении некоторого сигнала x внешняя система помечает фишкой соответствующую позицию в сети (рис. 7).

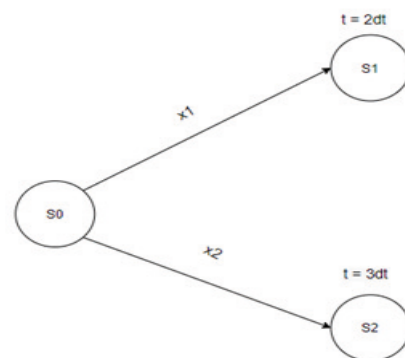


Рисунок 7 – Пример временного конечного автомата

Для построения эквивалентной сети Петри мы определим позицию $pclock$, в которую будут помещаться фишки каждый квант времени dt . Также определим позиции $Pend$, характеризующую состояние текущего процесса, S_0 – начальная позиция сети. Изначально сети содержит фишки в состоянии S_0 и end .

Построим сеть Петри, эквивалентную следующему конечному автомату: $t_1 = 2dt, t_2 = 3dt, x_1$ и x_2 – откладываемые сигналы. Для каждого $s \in S, x \in X$ во временном конечном автомате построим $p \in P, x \in P,$

$si_start \in T$ и $si_end \in T$. Переход по отложенному сигналу в следующее состояние возможен в случае, когда предыдущий процесс завершён, поэтому построим дуги (end, si_start) , (s_0, si_start) , (x_i, si_start) , а также ингибиторную дугу $(Pclock, si_start)$ во избежание конкуренции за фишку в позиции end : возможен случай, когда сигналы x_i и $Pclock$ пришли одновременно. si_start переводит автомат в новое состояние, а также

запускает процесс посредством высвобождения метки в позиции end . Каждый процесс длится определённое время $t = n * dt, n \in N$. Поэтому процесс считается завершённым в случае, когда $|Pclock| = n * dt$. В соответствии с этим построим дуги (si, si_end) , (si_end, si) , (si_end, end) , а также $(Pclock, si_end)$ в количестве n_i . Таким образом, мы получим сети Петри, представленную на рисунке 8.

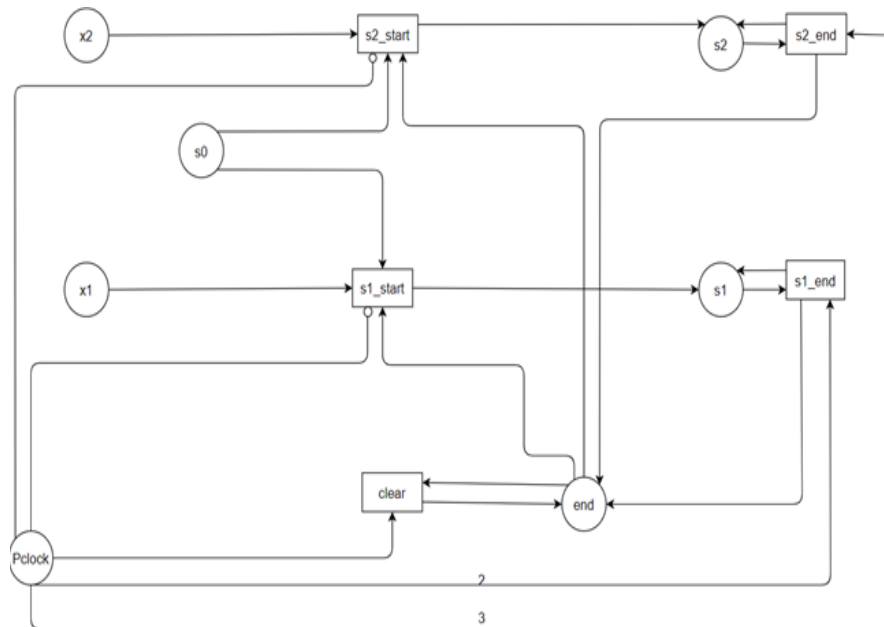


Рисунок 8 – Сеть Петри, эквивалентная временному конечному автомату

На рисунке 9 рассмотрим случай, когда s_1 и s_2 соединены последовательно, а сигнал x_2 – прерывающий.

Здесь по приходу сигнала x_2 мы будем помещать метку в состояние end с сохранением исходного условия. Для этого введём переход $s1_terminate$, а также дуги $(x_2, s1_terminate)$, $(s1_terminate, x_2)$, $(s1_terminate, end)$ и $(end, s1_terminate)$ – ингибиторная дуга. Теперь, по поступлении сигнала x_2 возможны 2 случая: процесс в $s1$ либо завершился, либо всё ещё выполняется. В первом случае сеть переместит фишку из состоя-

ния $s1$ в $s2$; во втором случае сеть переведёт процесс в состояние end с сохранением исходного сигнала x_2 , и только после очищения счётчика $Pclock$ сработает переход $s2_start$.

Обособим случай, когда количество дуг $(pclock, s1_end) = 1$, а процесс $s1$ завершён по времени. В такой ситуации возможна конкуренция между переходами $clear$ и $s1_end$. Во избежание состязательной ситуации добавим ингибиторную дугу $(end, s1_end)$ которая будет разрешать конфликт в пользу перехода $clear$.

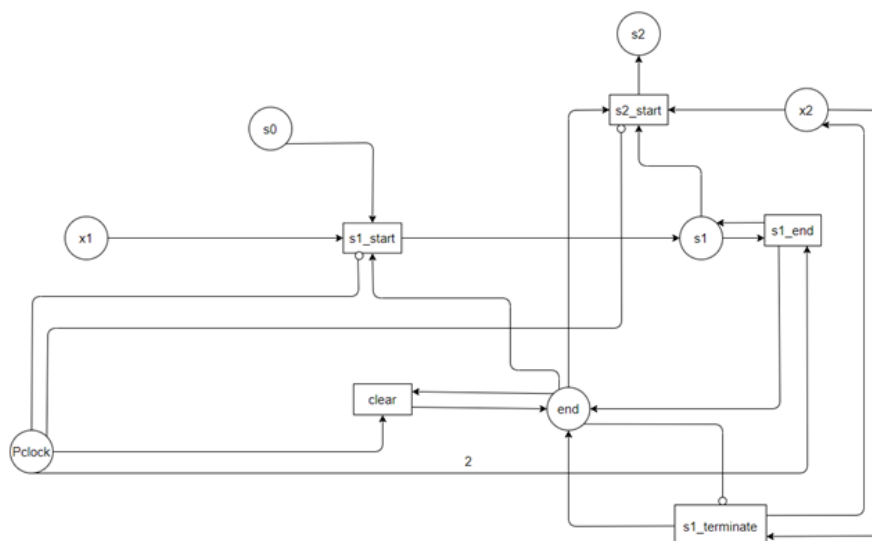


Рисунок 9 – Сеть Петри для автомата, содержащего «прерывающие» переходы

Таким образом, перед конвертированием временного автомата в сеть Петри необходимо разделить множество X на подмножества A и I такие, что $A \cup I = X, A \cap I = \emptyset$. Каждая сеть должна содержать

- $pclock, end, p_0 \in P$ – позиции, общие для всей сети;
- $clear \in T$ – переход для очистки временным меток;
- $(pclock, clear), (clear, end), (end, clear) \in W$ – данная конструкция позволяет очищать скопившиеся временные метки;

Затем, для каждого состояния $s_i \in S$ строим эквивалентные позиции $p_i \in P$, для каждого сигнала $x_i \in X$ так же $p_i \in P$. Для каждого перехода необходимы следующие построения:

- $tstart_i, tend_i \in T$ – эквивалентны состояниям автомата;
- $(p_{i,p}, tstart_i), (x_i, tstart_i), (end, tstart_i), (tstart_i, p_i), (p_i, tend_i), (tend_i, p_i), (tend_i, end), (pclock, tend_i) * n_i \in W$ – обычные дуги, реализующие логику перехода в следующее состояние;
- $(pclock, tstart_i)$ – ингибиторная дуга:

Для каждой дуги, которая прерывает тот или иной процесс, необходимо достроить

- $tterminate_i \in T$;
- $(tterminate_i, x_i), (x_i, tterminate_i), (tterminate_i, end) \in W$ – обычные дуги;
- $(end, tterminate_i) \in W$ – ингибиторная дуга.

Так же, если для какого либо перехода во временном конечном автомате истинно $\exists t=dt, t \in T$, то в сетях Петри для данного перехода $tend_i \in T$ должна быть построена ингибиторная дуга $(end, tend_i) \in W$.

Заключение. В данной статье было рассмотрено конвертирование временного конечного автомата в сеть Петри с использованием ингибиторных дуг. Формализован метод построения эквивалентной сети Петри по временному конечному автомату.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ачасова С. М., Бандман О. Л. Корректность параллельных вычислительных процессов. — Новосибирск: Наука, 1990. — 253 с.
2. Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В. Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Курс для системных архитекторов, программистов, системных аналитиков, проектировщиков сложных систем управления. - Санкт-Петербург: Профессиональная литература, АйТи-Подготовка, 2014. - 400 с.
3. Веретельникова Е., Теоретическая информатика. Теория сетей Петри и моделирование систем. –Новосибирск: НГТУ, 2018 – 79 с.
4. Котов В. Е. Сети Петри. — М: Наука, 1984. — 160 с.
5. Клейнберг Дж., Тардос Е. Алгоритмы. Разработка и применение. – СПб.: Изд. Питер, 2016. – 800 с.
6. Кормен Томас Х., Лейзерсон Чарльз И., Ривест Рональд Л., Штайн Клиффорд Алгоритмы. Построение и анализ. – М.: Вильямс, 2019. – 1328 с.
7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М: Мир, 1984. — 264 с.
8. Уилсон Р. Введение в теорию графов – М: Вильямс, 2020 г. – 240 с.
9. Gill A. Introduction To The Theory Of Finite State Machines. – New York: McGraw-Hill; First Edition, First Printing

edition, 1962. – 207 p.

10. Pashchenko D. et al. The methodology of multicriterial assessment of Petri nets' apparatus //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2016. – Т. 44. – С. 01009.

11. Войнов А. С. и др. Программа преобразования представлений сетей Петри //Новые информационные технологии и системы. – 2015. – С. 29-32.

12. Слепцов А. И., Юрасов А. А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств / Б. Н. Малиновский. — Киев: Техника, 1986. — 160 с.

13. Pashchenko D. V. et al. Directly executable formal models of middleware for MANET and Cloud Networking and Computing //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2016. – Т. 710. – №. 1. – С. 012024.

14. Скиена С., Алгоритмы. Руководство по разработке. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 720 с.

15. Мартьяшин Г. В. и др. Возможности применения биоинспирированных алгоритмов в задаче синтеза альтернативных сетей Петри в тензорной методологии исследования СП-структур //Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – №. 1 (21).

16. Захаров Н.Г., Рогов В.Н. Синтез цифровых автоматов: учеб. пособие – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2003. – 135 с.

17. Вашкевич Н. П. Недетерминированные автоматы в проектировании систем параллельной обработки: учеб. пособие / Н. П. Вашкевич. – Пенза:Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 280 с.

18. Pashchenko D. et al. Formal transformation inhibitory safe Petri nets into equivalent not inhibitory //Procedia Computer Science. – 2015. – Т. 49. – С. 99-103.

Статья поступила в редакцию 01.06.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 303.732.4

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0008

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ

© 2020

Павличева Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент,
начальник управления «Управление по развитию новых образовательных технологий»,
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
(127055, г. Москва, Вадковский пер. 3а, Москва, e-mail: enpav@rambler.ru)

Аннотация. Современные технологии являются мощным инструментом в образовательном пространстве. Развитие информационных ресурсов обеспечило новый тип взаимодействия между преподавателями и студентами, а также способствовало обеспечению равенства и доступности образовательных программ. Одним из основных способов обучения на сегодняшний момент является дистанционное обучение. Во многих странах мира увеличивается количество студентов, обучающихся дистанционно, растет число университетов, использующих их в образовательном процессе, создается большое количество международных образовательных структур и т. д. Чтобы полностью реализовать достоинства дистанционных технологий в отечественной системе образования и накопить необходимый опыт, преподаватели должны шире использовать их в своей практике. В настоящее время в сфере образования определяются принципиально новые приоритеты, важнейшими из которых являются информатизация управленческой деятельности, решение проблемы эффективного распределения системных ресурсов, используемых при передаче и обработке образовательной информации. Методы и модели ресурсного планирования должны быть направлены на более эффективное использование инфокоммуникационной среды передачи данных с ограниченной пропускной способностью, а также на решение проблемы ограниченного числа одновременных пользователей (сеансов) образовательного процесса. Цель исследования: комплексный анализ и разработка методов управления ресурсами в организации и эксплуатации систем дистанционного образования. В работе приведены результаты исследования существующих информационных систем управления дистанционным обучением и предложен усовершенствованный подход к их разработке.

Ключевые слова: дистанционное обучение, информатизация в области образования, управление информационными процессами, высшие учебные заведения, индивидуальный план обучения, моделирование образовательного процесса.

DEVELOPMENT OF INFORMATION RESOURCES TO ENSURE CONTINUING EDUCATION AND KNOWLEDGE TRANSFER IN TECHNICAL UNIVERSITIES

© 2020

Pavlicheva Elena Nikolaevna, candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,
Head of «Office for the development of new educational technologies»
Moscow State University of Technology «STANKIN»
(127055, Moscow, Vadkovsky lane, 3a, e-mail: enpav@rambler.ru)

Abstract. Modern education is the integration of content and learning technologies. Distance learning is an opportunity to study individually, regardless of the place and time, the opportunity to learn all my life. Development of information resources to ensure continuing education and knowledge transfer in technical universities. In all countries of the world there is an increase in the number of students remotely, the number of universities using them in the educational process is growing; a large number of international educational structures are being created, etc. currently, fundamentally new priorities are being identified in the educational sphere, the most important of which are the informatization of the management activities of educational organizations. The relevance of the study is due to the fact that the support of management information processes of distance and mobile education is associated with the problem of effective distribution of system resources used in the transmission and processing of educational information. Also the relevance of the topic is due to the fact that the problem of development and implementation of distance learning in higher education is particularly acute for the domestic education system due to the increasing requirements for the quality, volume and pace of the educational process and dissatisfaction with the existing system of higher education. Methods and models of pre-resource planning should be aimed at more efficient use of infocommunication data transmission environment with low bandwidth, as well as to solve the problem of a limited number of simultaneous users (sessions) of the educational process. The aim of the study: is a comprehensive analysis and development of methods of resource management in the organization and operation of distance and mobile education systems. Scientific novelty of research: formalization of information management processes in the system of distance education, taking into account the resource constraints of the educational system, the requirements of effective management. The authors conducted a study of existing information systems that control distance and mobile education. The authors proposed an improved integrated approach to the formation of requirements and automation of modern systems of distance education.

Keywords: distance education, informatization in the field of education, information process management, higher education institutions, an individual curriculum, modeling of the educational process.

Введение. В современном мире дистанционное обучение быстро набирает популярность и все чаще применяется в образовательном процессе. Развитие дистанционного обучения в Российской Федерации сегодня является острой проблемой, когда все образовательные организации находятся в изоляции, чтобы предотвратить распространение коронавируса. Кроме того, качество образования должно улучшиться, путем создания и совершенствования эффективной среды обучения для всех, что соответствует масштабам Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития. ООН приняла данную цель в 2015 году, и цель № 4 «Качественное обучение» является одной из основополагающих [1]. С другой стороны, следует отметить, что в нынешний век технологий, который может характеризоваться огромными объемами данных, необходима правильная структуризация, обширный анализ и точное представление данных, чтобы любой мог быть в состоянии воспользоваться преимуществами этих информационных ресурсов [2, 3]. Современное образование – это интеграция знаний и технологий обучения [4]. Понимание этого факта позволяет рассматривать дистанционное обучение как одну из дополнительных возможностей формирования индивидуальной образовательной траектории для каждого обучающегося. Информационные и коммуникационные технологии модифицируют образование на разных уровнях. В образовательной деятельности выявлены принципиально новые приоритеты, важнейшим из которых является информационная поддержка управленческой деятельности образовательных организаций. Одним из уровней, на которых информационные и коммуникационные технологии играли ключевую роль в течение последних трех десятилетий, является управление и распределение образовательных ресурсов, а также предоставление информации студентам, преподавателям и научным руководителям, что часто называют информационной системой управления образованием. Следовательно, образовательные организации участвуют во внедрении информационных систем и технологий, позволяющих более эффективно управлять своими ресурсами. В то же время информационные технологии также позволяют студентам активно взаимодействовать со всей областью своих курсов (профессорско-преподавательским составом, учебными материалами, оценками и сокурсниками), что положительно влияет на эффективность и успешность обеих сторон [5]. Также, одна из функций использования информационных данных заключается в поддержке принятия решений в области образовательной политики [6].

Современная система образования в России не ориентирована на будущую профессию, молодые люди не всегда выбирают ту сферу, в которой в полной мере могут раскрыться их таланты и приобретенные навыки. Большинство российских студентов, впрочем, как и студенты в других странах, обучаются традиционным способом по программам, рассчитанным на широкий круг лиц и без учета индивидуальных

особенностей [7 – 8]. Другой проблемой является качественная профориентация для подростков и нехватка квалифицированных специалистов в данной области. Выбор будущей профессии трудно определить в возрасте от 7 до 18 лет, поэтому обучающиеся часто меняют свой выбор уже в процессе обучения [9]. Личный выбор профессиональной специализации может упроститься систематическим анализом данных с использованием информационных технологий. Кроме того, важным моментом в управлении образованием является использование конкурентных стратегий среди студентов, а также привлечение их к решению проблем в сфере их академических интересов. Следовательно, сбор, обработка и системный анализ информации в университете в современном мире становится основой для формирования индивидуальных траекторий обучения студентов. Дистанционное обучение является одним из способов реализации этих подходов.

Материалы и результаты исследований. Процесс обучения является активным процессом. Согласно конструктивному подходу, обучение происходит только через непосредственное взаимодействие с внешней средой и базируется на собственном опыте ученика. Пассивное получение информации возможно, но восприятие ее будет оказываться недостаточным, поскольку не исходит из установления значимых связей между предшествующими знаниями, новыми знаниями и процессами, участвующими в обучении. Причем каждый обучающийся имеет собственную точку зрения, основанную на его личных знаниях, мотивациях и ценностях. Это означает, что одна и та же лекция или лабораторное исследование могут привести к получению разного опыта обучения каждым из учеников, поскольку их субъективные интерпретации различаются. Образовательную среду с точки зрения системного анализа можно рассматривать как систему ввода и вывода, организованную для познавательной деятельности обучающихся.

На рисунке 1 представлена общая модель образовательного процесса в вузе в виде динамической управляемой системы. Входным параметром в данной системе является абитуриент, который обладает личностными характеристиками, а также компетенциями, навыками и знаниями, носящими направленный характер. Центральный элемент системы – это непосредственно сам образовательный процесс, в котором обучающийся достигает поставленных на первоначальном этапе субъективных образов целеполагания (например, получить химико-технологическое образование). На выходе данной модели получается выпускник, со специализированными знаниями, навыками, умениями, способностями и компетенциями в намеченной на первоначальном этапе научной сфере, а также более развитые личностные качества. Стоит отметить, что эти знания и умения должны коррелироваться с запросами работодателя. И согласованность намеченных целей и полученных результатов при их сопоставлении показывает эффективность данной системы.

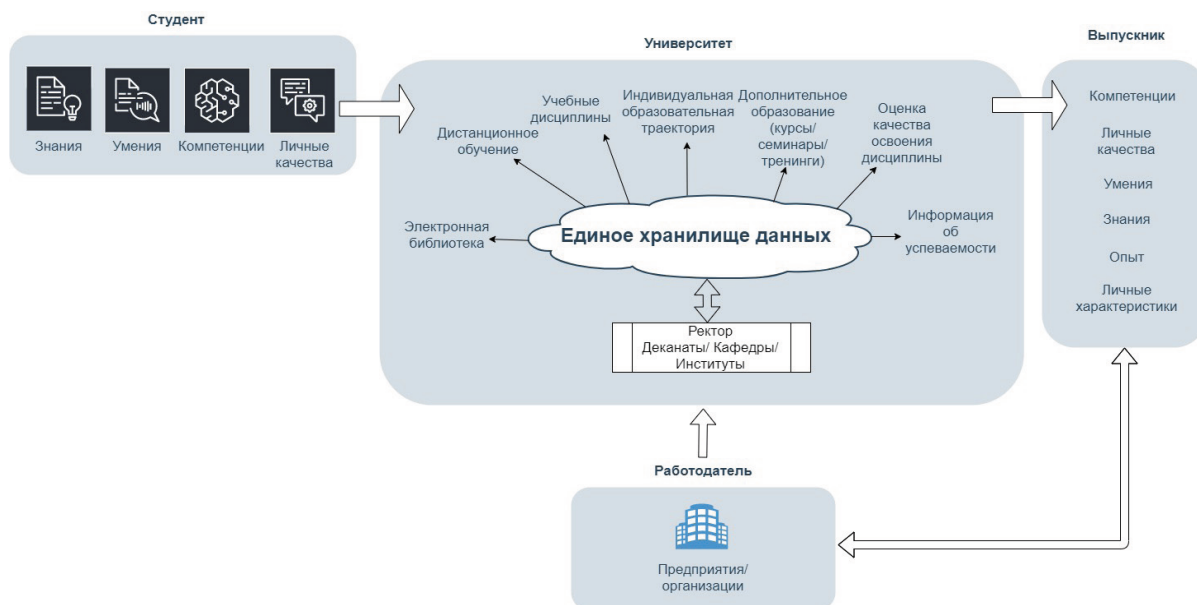


Рисунок 1 – Общая модель образовательного процесса в вузе

Дистанционное обучение представляет собой одну из форм образовательного процесса и является существенной его частью [10 – 12]. Под дистанционным обучением понимается средство организации и управления самостоятельной деятельностью в учебном процессе обучающегося, что позволяет ему не присутствовать лично в учебном заведении. Следовательно, дистанционное обучение студентов предназначено не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы в учебной и профессиональной деятельности. Также, такой вид обучения улучшает способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблемы и находить конструктивные решения разнообразных задач [13, 14].

При создании информационного ресурса для описания образовательного процесса была использована фреймовая модель. Фреймы относятся к моделям структурно-лингвистического типа и применяются для моделирования и переработки разнообразных знаний различных объектов [15, 16].

Предложенная фреймовая модель «Образовательная деятельность в ВУЗе», состоит из четырех фреймов «Характеристика студента», «Единое хранилище данных», «Характеристика выпускника» и «Ответственное лицо».

Разработка фреймовой модели осуществлялась с помощью концептуального и таксономического анализа предметной области. Связи между указанными фреймами показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Фреймовая модель «Образовательная деятельность в ВУЗе»

На входе в данной модели – студент, обладающий индивидуальными характеристиками, личными качествами (Фрейм «Характеристика студента»), на выходе — выпускник, имеющий приращенные знания, умения, навыки, компетенции, способности, а также развитые личностные качества (Фрейм «Характеристика выпускника»).

В свою очередь фрейм «Единое хранилище данных» представляет собой сеть из фреймов: фрейм «Информация об успеваемости студента»; фрейм «Система управления учебными дисциплинами»; фрейм «Система управления оцениванием»; фрейм «Дополнительное образование»; фрейм «Электронная библиотека»; фрейм «Дистанционное обучение»; фрейм «Индивидуальная образовательная траектория». Фрейм «Единое хранилище данных» формализует всю информацию об образовательном процессе студента и координируется фреймом «Ответственное лицо».

Фрейм «Дополнительное образование» состоит из пяти фреймов: «Направление», «Вид», «Цель», «Категория слушателей», «Объем» и таких характеристик как содержание и цена. Они содержат различные параметры для выбора новых профессиональных

обязанностей, получения дополнительной квалификации. Фрейм «Электронная библиотека» состоит из трех фреймов – «Электронные документы, подготовленные преподавателями и сотрудниками», «Электронные издания», «Электронные аналоги печатных изданий». Данные фреймы содержат характеристики для поиска и получения необходимой литературы для обучения студента. Фрейм «Система управления учебными дисциплинами» представляет собой сеть фреймов, состоящих из «Модули дисциплин», «Программа обучения», «Части дисциплин», «Система управления познавательным процессом», «Информация», «Системность знания», «Развитие познавательных качеств навыков и умений», «Контроль». Данные фреймы взаимосвязаны и содержат параметры для накопление новых знаний в пределах соответствующей специальности. Фрейм «Система управления оцениванием» представляет собой сеть фреймов, состоящих из «Объект и проверки оценки», «Критерии оценивания», «Предмет оценивания».

Данный фрейм включает в себя характеристики контроля за теоретическим обучением и воплощением знаний, умений и навыков в практической деятельности.

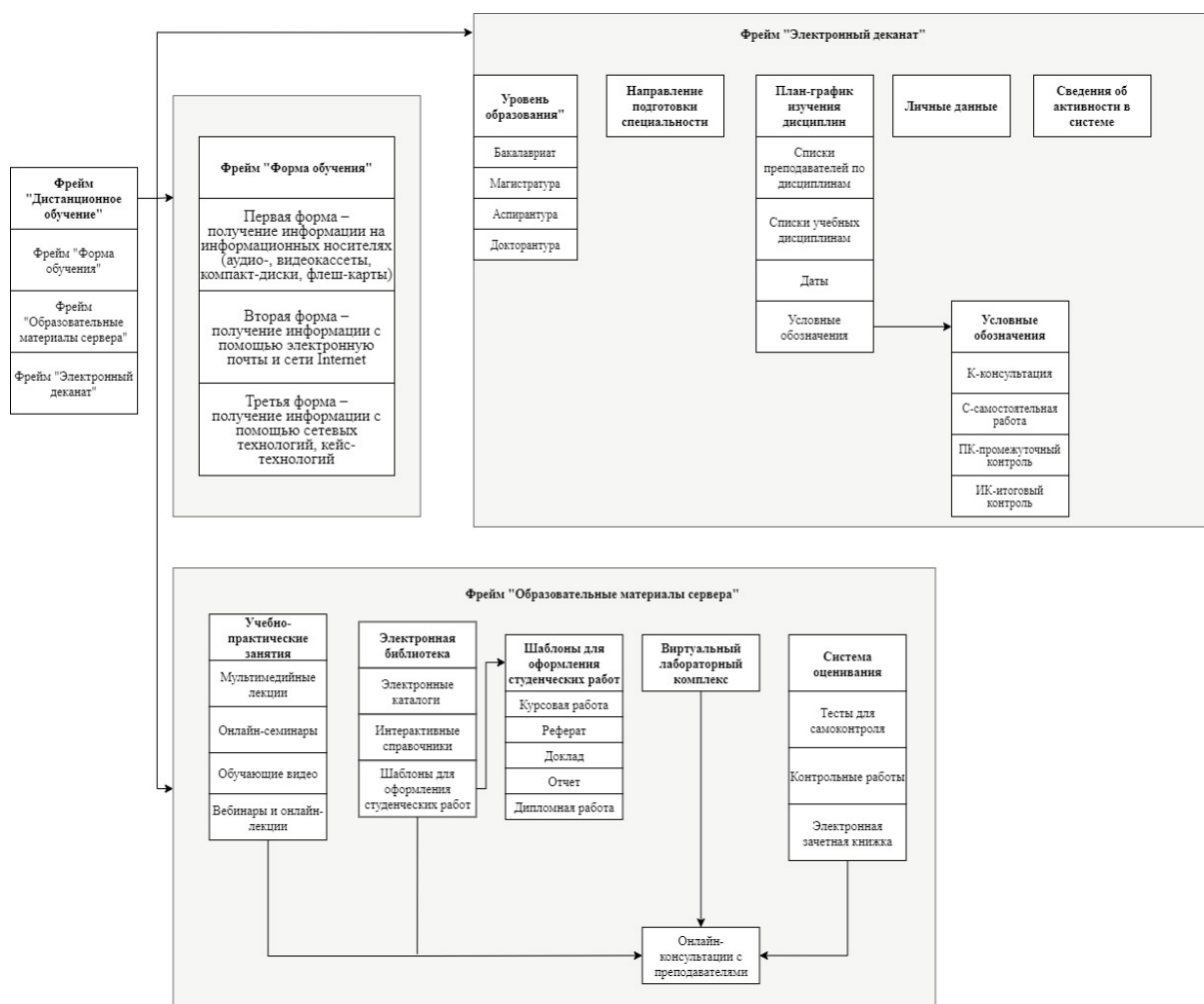


Рисунок 3 - Фрейм «Дистанционное обучение»

Более детально рассмотрим фрейм «Дистанционное обучение», который, в свою очередь, содержит три фрейма – «Форма обучения», «Образовательные материалы сервера», «Электронный деканат». Данный фрейм, представленный на рисунке 3, содержит параметры для установления интерактивного общения между студентом и преподавателем без непосредственного контакта и самостоятельного освоения

определенного массива информации по выбранной дисциплине при заданной информационной технологии.

Фрейм «Индивидуальные образовательные траектории» состоит из трех фреймов – фрейм «Дополнительные данные», фрейм «Выбор направления траектории» и фрейм «Учебная траектория», представленных на рисунке 4.

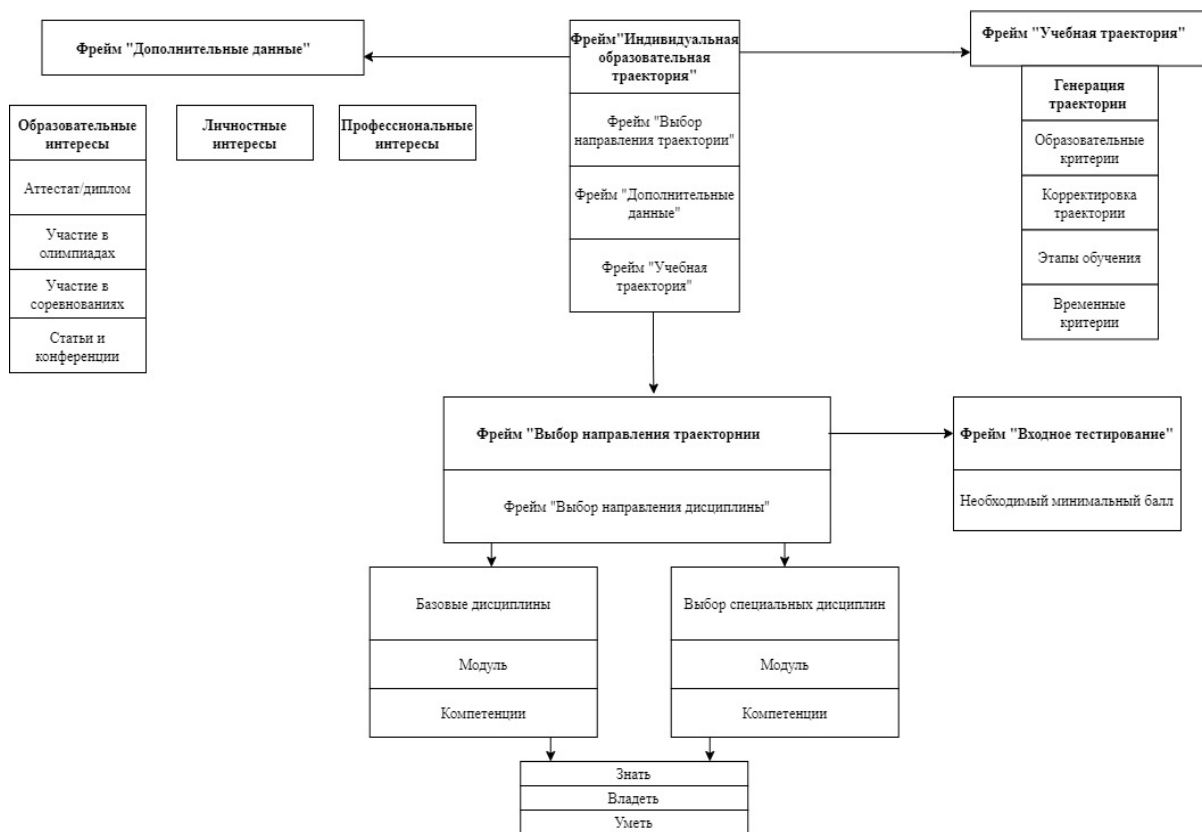


Рисунок 4 - Фрейм «Индивидуальные образовательные траектории»

Данный фрейм позволяет выбрать, выстроить и реализовать индивидуальный образовательный план, который основан на внутренних компонентах – дополнительных данных студента, индивидуальных достижениях и личных образовательных интересах (фрейм «Выбор направления траектории»), и внешних компонентах – входном тестировании и генерации траектории. Совокупность внутренних образовательных компонентов и внешних позволяет предложить вариативный маршрут образования для каждого студента. В ходе реализации индивидуальной образовательной траектории студента может происходить уточнение отдельных составных частей, что включает в себя возможную корректировку.

Организация педагогического процесса является основой для развития индивидуальных образовательных траекторий. И в значительной мере, важен масштаб формирования образовательных траекторий, так как он чаще всего локализуется в отдельных образовательных сферах.

Отдельным модулем в обучении учащегося химии должны быть открытые образовательные электрон-

ные ресурсы (ОЭР). Здесь можно увидеть несколько методов реализации: использование элемента очного обучения с помощью ОЭР.

Открытые образовательные электронные ресурсы в настоящий момент достаточно распространены. Исследование показало, что онлайн-обучение способно повысить уровень обучения, и выявило, что студенты могут приобретать устойчивые знания и умения, когда работают индивидуально [17 – 19]. В дистанционном обучении значительную роль играют информационные ресурсы [20]. А выбор правильного информационного ресурса — сложная и трудная задача.

Заключение. В данной статье представлена модель образовательной деятельности в соответствии с образовательными стандартами, имеющимися в большинстве вузов Российской Федерации, с использованием концептуального и таксономического анализа предметной области. Предложены фреймовые модели для описания общей концепции образовательного процесса в университете, компоненты процесса и их взаимосвязь для полноценной визуализации.

Одним из важнейших компонентов этих структур

является дистанционное обучение, применение которого способствует удовлетворению всех требований к уровню академического образования, опираясь на индивидуальные качества учащихся и совокупность объектов и субъектов образовательной системы. Был сделан вывод, что открытые образовательные ресурсы играют важную роль в построении индивидуальной образовательной траектории на всех этапах обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda // Sustainable Development Knowledge Platform. United Nations. – 2015.
2. Martins, J. Assessing the success behind the use of education management information systems in higher education // *Telematics and Informatics*. – 2018. – V. 38. – P. 182 – 193.
3. Sivarajah U., Kamal M., Irani Z., Weerakkody V. Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods // *Journal of Business Research*. – 2017. – V. 70. – P. 263 – 286. ISSN 0148 – 2963.
4. Moreira F., Rocha A. A special issue on disruption of higher education in the 21st century due to ICTs // *Telematics and Informatics*. – 2018. – V. 35(4). – P. 930 – 932(3).
5. Pavlicheva E.N., Romashkova O.N. Systems of signals generating and processing in the field of on board communications // *Red Hook*. – USA, 2019.
6. Vicent L., Villagrasa S., Fonseca D., Redondo E. Virtua learning scenarios for qualitative assessment in higher education 3D arts. – 2015. – V. 21. – P. 1086 – 1105.
7. Davis B., Sumara D. Complexity and education: Inquiries into learning, teaching, and research, University of Alberta // *Lawrence Erlbaum Associates*. – England, 2014.
8. Bryan K. The Case Against Education: Why the Education System Is a Waste of Time and Money. Princeton, NJ // *Princeton University Press*. – 2018. ISBN 978-0691174655.
9. Collins A., Halverson R. Rethinking education in the age of technology: The digital revolution and schooling in America // *Teachers College Press*. – USA, 2018.
10. Drewes T., Michael C. How do students choose a university?: an analysis of applications to universities in Ontario // *Research in Higher Education*. – 2006. – V. 47. – P. 781 – 800.
11. It Takes More Than a Major: Employer Priorities for College Learning and Student Success [Электронный ресурс]: Association of American Colleges and Universities. – 2013. – режим доступа к журн.: URL:[<https://www.aacu.org/publications-research/>].
12. Lowden K., Hall S., Elliot D. Lewin J. Employers' perceptions of the employability skills of new graduates Research commissioned. Edge Foundation // *University of Glasgow SCRE Centre and Edge Foundation*. – 2011
13. А. Г. Сергеев, И. Е. Жигалов, В. В. Баландина. Введение в электронное обучение: монография // *Владим. гос ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых*. – Владимир: Издво ВлГУ. 2012. – 182 с. ISBN 978-5-9984-0268-5.
14. Darling-Hammond L., Flook L., Cook-Harvey C., Barron B., Osher D. Implications for educational practice of the science of learning and development // *Applied Developmental Science*. – 2020. – V. 24(2). – P. 97 – 140. DOI: 10.1080/10888691.2018.1537791.
15. *Прикладная информатика*. – 2013. – № 6(48). – С. 26 – 32. ISSN 1993-8314.
16. О.В. Соколова. Категория фрейма в когнитивной лингвистике // *Вестник АГТУ*. – 2007. – № 1.
17. Davenport J.L., Rafferty A.N., Yaron, D.J. Whether and how authentic contexts using virtual chemistry lab support learning // *Journal of Chemical Education*. – 2018. – V. 95(8). – P. 1250 – 1259.
18. Н.В. Днепровская, И.В. Шевцова. Открытые образовательные ресурсы // *Современные перспективы. Высшее образование в России*. – 2019. – №8 – 9.
19. С.В. Титова. Массовые открытые онлайн-курсы в российском образовании: миф или реальность? // *Вестник Московского университета. Лингвистика и межкультурная коммуникация*. – 2016 – №1.
20. Powers, J., Rafferty, A., Timms, M., Karabinos, M., & Yaron, D. Classroom Factors and Students Learning with Online Virtual Chemistry Lab Activities // *Annual Meeting of the American Educational Research Association in Philadelphia*. – 2014.

Статья поступила в редакцию 28.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 519.872

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0009

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИОРИТЕТОВ

© 2020

Мартенс-Агюшев Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры
«Вычислительные машины 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: novoselich93@mail.ru, alexey314@yandex.ru)

Аннотация. В статье описываются полученные аналитические выражения для модели специализированной реконфигурируемой многопроцессорной системы. Модель основана на аппарате теории массового обслуживания с относительными приоритетами. Исследование заключается в анализе методики получения временных характеристик подсистемы «процессор-память» архитектуры типа UMA. При этом в составе архитектуры учитывается проектируемый контроллер памяти, представленный в предыдущих работах. В результате проделанной работы получены выражения оценки времени обмена между процессорами и общей памятью, а именно временные характеристики обращения процессора к памяти при условиях расщепления транзакций на чтение и запись и относительных приоритетах обслуживания, что предполагает получение вышеназванных характеристик, приближенных к реальным системам. В заключении сделаны выводы по проделанной работе.

Ключевые слова: специализированная реконфигурируемая многопроцессорная система, математическая модель, контроллер памяти, архитектура памяти UMA, разделяемая память, система массового обслуживания, относительный приоритет.

MATHEMATICAL MODEL OF A SPECIALIZED RECONFIGURABLE MULTIPROCESSOR SYSTEM BASED ON RELATIVE PRIORITIES

© 2020

Martens-Atyushev Dmitry Sergeevich, postgraduate of sub-department
«Computers 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, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11,
e-mails: novoselich93@mail.ru, alexey314@yandex.ru)

Abstract. In this article, we develop analytical expressions to describe the model of a specialized reconfigurable multiprocessor system. The model is based on the Queuing theory apparatus with relative priorities. The research consists in the formation of a method for obtaining the time characteristics of the "processor-memory" subsystem of the UMA architecture. In this case, the architecture takes into account the projected memory controller presented in previous works. As a result of this work, expressions for estimating the exchange time between processors and shared memory are obtained, namely, the time characteristics of processor access to memory under conditions of splitting transactions into read and write and relative service priorities, which implies obtaining the above-mentioned characteristics close to real systems. In conclusion, the conclusions on the work done.

Keywords: specialized reconfigurable multiprocessor system, mathematical model, memory controller, UMA memory architecture, shared memory, Queuing systems, relative priority.

Введение. При разработке специализированных реконфигурируемых многопроцессорных систем (СРМС), требуется решать различные задачи для повышения их быстродействия и функциональных возможностей, в том числе задачу увеличения пропускной способности тракта обмена данными в подсистеме «процессор-память». В работах [1, 2] рассмотрены некоторые способы доступа к памяти и описаны наиболее часто применяемые на практике типы архитектур подсистемы «процессор-память». Как показал анализ методов доступа к памяти, в целом для проектирования многопроцессорных систем применяется два типа архитектуры: с однородным (*Uniform Memory Access*

– *UMA*) и неоднородным (*Non Uniform Memory Access* – *NUMA*) доступом к памяти.

Материалы и результаты исследования. В процессе проектирования СРМС важным этапом является проведение моделирования для того чтобы проверить теоретические предположения по разработке системы и сократить затраты ресурсов и времени на разработку. Актуальным и широко применяемым способом исследования систем является моделирование с применением теории массового обслуживания (ТМО) [3, 4]. В опубликованных ранее работах [5, 6] представлены некоторые результаты по исследованию архитектуры типа *UMA* для специализированных реконфигури-

руемых систем и описан способ совершенствования данной архитектуры с использованием оригинального контроллера памяти. Однако эти результаты были получены в предположении о том, что все входящие потоки в сетях массового обслуживания (*СeMO*) являются простейшими, времена обслуживания распределены по экспоненциальному закону, а все системы массового обслуживания (*СМО*) в сети не имеют ограничения на длину очереди. Моделирование при подобных допущениях дает лишь приближенное представление о характеристиках исследуемой многопроцессорной системы. В настоящей работе рассматривается вопрос разработки аналитических моделей *СРМС* с приоритетными дисциплинами обслуживания для определения времени обмена, а также задержек в подсистеме «процессор-память».

Математическая модель СРМС. Обычно в типовых подсистемах «процессор-память» в моменты передачи данных необходимо, чтобы один тип запросов занимал как можно меньше времени обслуживания в отличие от остальных типов. Введение приоритетов позволяет выполнять поступающие от процессоров к общей памяти запросы за наименьший промежуток времени. В теории *СМО* существуют различные способы приоритетных дисциплин обслуживания (*ДО*), здесь внимание сосредоточено на относительном приоритете (*ОП*) [7, 8]. В *СМО* запросы с различными

приоритетами обычно имеют разное значение интенсивности поступления на обслуживание, это говорит о неоднородности потока, что вполне приемлемо для реальных *СРМС*.

Запросы, имеющие наивысший приоритет, выполняются за более короткий промежуток времени, это объясняется тем, что процессорам срочно требуется считать из памяти данные или же записать их в память. Запрос с высоким приоритетом, прибывший в *СМО* и заставший на обработке запрос с меньшим приоритетом, будет ожидать своей очереди в соответствии со своим приоритетом, что характерно для *ДО* с относительными приоритетами. Применяя приоритеты, нужно учитывать условия, при которых разрабатываемые аналитические модели *СМО* могут дать наиболее точный расчет характеристик системы. Таким образом, нужно принять во внимание следующие условия: входной поток должен быть экспоненциальным, система должна быть с неограниченной очередью и одноканальной, т. е. предпочтительны *СМО* типа *M/M/1* и *M/G/1* с неограниченными очередями [9, 10].

Проектируемая модель *СРМС* представлена на рисунке 1, где все моделируемые узлы подсистемы «процессор-память» состоят из одноканальных *СМО* типа *M/M/1*, что соответствует типу общей памяти с набором независимых блоков [11, 12].

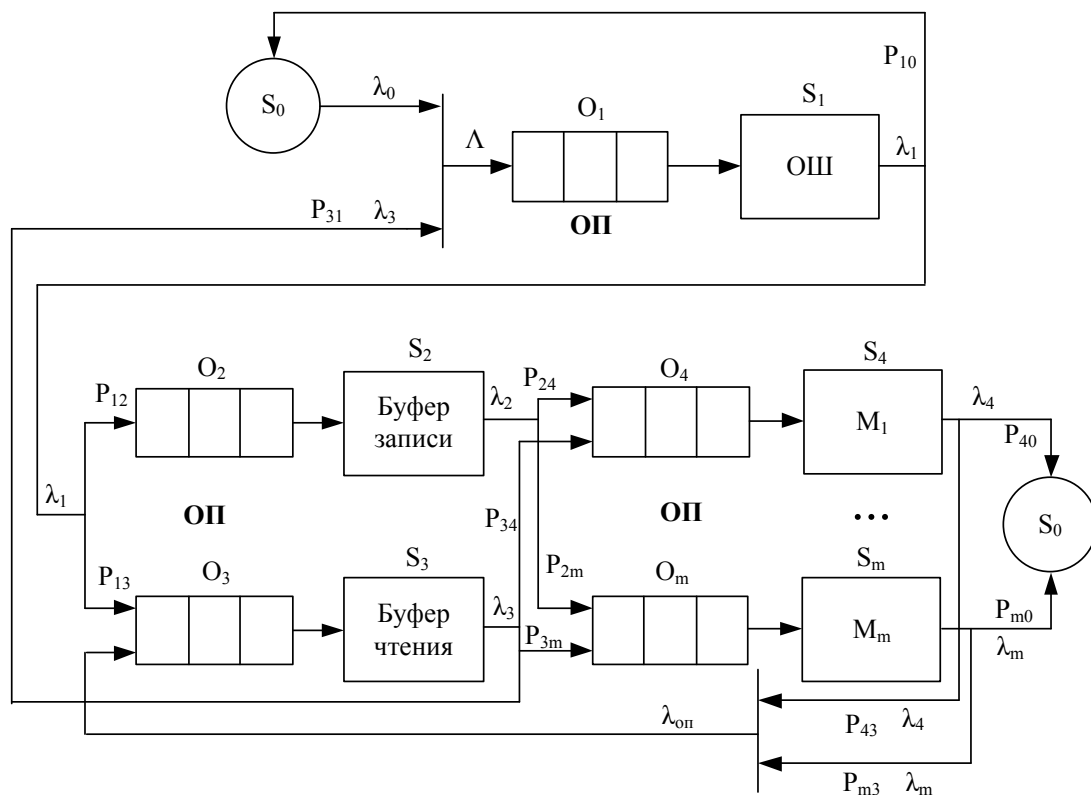


Рисунок 1 – Модель подсистемы «процессор-память» с распределенными блоками памяти и относительными приоритетами

Предполагается, что на вход модели поступает суммарный неоднородный поток Λ , который состоит из суммы интенсивностей потоков λ_0 и λ_3 , при этом

согласно условию:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n-1, \text{ тогда}$$

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i + \lambda_3. \quad (1)$$

Источником заявок S_0 являются процессорные узлы, генерирующие запросы на чтение/запись. Данные запросы поступают на общую шину (ОШ) S_1 , где они с интенсивностью λ_1 перенаправляются в буферы записи (БЗ) S_2 и чтения (БЧ) S_3 контроллера памяти. После контроллера памяти в зависимости от операции чтения или записи запросы с интенсивностью λ_2 или λ_3 поступают на модули общей памяти (ОП) $S_4 \dots S_m$. Модель в этом случае является многофазной.

Транзакции на запись проходят три этапа обслуживания: ОШ (S_1), БЗ (S_2), один из модулей ОП ($S_4 \dots S_m$). Для транзакции чтения потребуется пять этапов обслуживания: ОШ (S_1), БЧ (S_3), один из модулей ОП ($S_4 \dots S_m$), снова БЧ (S_3), а из него в ОШ (S_1). Можно предположить, что процессор, выдав запрос на запись или чтение из памяти, освобождает ОШ, пока вновь не обратится к ней, чтобы получить, например, читаемые данные. При этом новые запросы формироваться не будут, тогда имеет смысл описывать СМО без ограничений на длину очереди, что будет соответствовать условиям проведения моделирования для приоритетных дисциплин обслуживания. Другими словами, очереди $O_1, O_2, O_3, O_4 \dots O_m$ в модели являются не ограниченными по длине.

Приоритет запроса зависит от его типа и направления. Исходя из этого, суммарный входной поток запросов в модели будет иметь три класса приоритета. Преимущество над всеми запросами имеет поток, формируемый буфером чтения на выдачу читаемых данных $\lambda_{pp_{31}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_R$, т.к. данная операция считается наиболее приоритетной в СРМС.

Процессорные узлы формируют поток запросов, который содержит в своем составе два класса приоритета, т.е. $\lambda_0 = \lambda_{02} + \lambda_{01}$, где $\lambda_{02} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_W$ – классы запросов на запись, формируемые процессорами в зависимости от приоритетности решаемой задачи, и имеющие второй уровень приоритета, и $\lambda_{01} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_R$ – классы запросов на чтение, обладающие низшим классом приоритета.

На вход СМО, представляющей БЗ, поступает неоднородный поток запросов на запись λ_1 с вероятностью p_{12} , имеющий только приоритет процессорного узла $\lambda_{pp_{12}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_W$. Для буфера чтения классы приоритетов формируются другим образом. Самым высшим приоритетом будет обладать класс запросов, поступающих от модулей ОП $\lambda_{оп} = \lambda_4 + \lambda_5 + \dots + \lambda_m$, где присутствует классы приоритетов для запрашиваемых процессорных узлов. Следующим по уровню приоритета потоком является запрос на чтение от ОШ с соответствующей вероятностью перехода $\lambda_{p_{13}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_R$.

Рассмотрим распределение классов приоритета для модулей ОП модели СРМС. Для первого и последующих модулей наивысшим классом приоритета обладают запросы на запись $\lambda_{pp_{2m}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_W$, низшим приоритетом обслуживается запрос на чтение

данных $\lambda_{p_{3m}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_R$.

Таким образом, обработка запросов с относительными приоритетами рассматриваемой модели СРМС представляется в следующем виде. При выборе сопоставляются приоритеты находящихся в очереди запросов, после этого на обработку поступает тот запрос, который имел наивысший приоритет, например, запрос из класса λ_0 . Далее запрос занимает обслуживающее устройство. Когда в процессе этого обслуживания приходят запросы более высокого приоритета, например, из класса $\lambda_{pp_{31}}$, то процесс обслуживания заявки λ_0 не прерывается. В этом и заключается относительность приоритета, так как он имеет место только при непосредственном поступлении на обслуживание.

Чтобы определить связи между СМО сети, используется матрица вероятности передач, при этом матрица P данной модели принимает следующий вид (2).

$$P = [p_{ij}] = \begin{matrix} & S_0 & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & \dots & S_m \\ S_0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ S_1 & p_{10} & 0 & p_{12} & p_{13} & 0 & \dots & 0 \\ S_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{24} & \dots & p_{2m} \\ S_3 & 0 & p_{31} & 0 & 0 & p_{34} & \dots & p_{3m} \\ S_4 & p_{40} & 0 & 0 & p_{43} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_m & p_{m0} & 0 & 0 & p_{m3} & 0 & \dots & 0 \end{matrix} \quad (2)$$

где p_{ij} – вероятность перехода запросов в СМО, определяемая как

$$p_{ij} = \frac{N_{ij}}{N}. \quad (3)$$

где N_{ij} – среднее количество обращений от устройства, моделируемое системой S_j к устройству, моделируемому системой S_i сети за время решения одной задачи. Общее количество этапов обслуживания заявок в системе S_i сети составит

$$N_i = \sum_{j=0}^n N_{ji}. \quad (4)$$

Поскольку заявки из системы S_j поступают в систему S_i с вероятностью p_{ji} , то интенсивность потока, поступающего из S_j в S_i равна $p_{ji} \lambda_j$, где λ_j – интенсивность выходящего и, следовательно, входящего потоков заявок системы S_j . С учетом этого для предлагаемой модели подсистемы «процессор-память» интенсивность потока запросов на ее входе, будет определяться выражением (5).

$$\lambda_i = \sum_{j=0}^n p_{ji} \lambda_j. \quad (5)$$

Таким образом, интенсивности потоков заявок для СМО, включающей СМО $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_m$, можно представить следующей системой алгебраических уравнений, которым соответствует каноническая форма (6).

$$\begin{cases} (p_{00}-1)\lambda_0 + p_{10}\lambda_1 + p_{20}\lambda_2 + p_{30}\lambda_3 + p_{40}\lambda_4 + \dots + p_{m0}\lambda_m = 0; \\ p_{01}\lambda_0 + (p_{11}-1)\lambda_1 + p_{21}\lambda_2 + p_{31}\lambda_3 + p_{41}\lambda_4 + \dots + p_{m1}\lambda_m = 0; \\ p_{02}\lambda_0 + p_{12}\lambda_1 + (p_{22}-1)\lambda_2 + p_{32}\lambda_3 + p_{42}\lambda_4 + \dots + p_{m2}\lambda_m = 0; \\ p_{03}\lambda_0 + p_{13}\lambda_1 + p_{23}\lambda_2 + (p_{33}-1)\lambda_3 + p_{43}\lambda_4 + \dots + p_{m3}\lambda_m = 0; \\ p_{04}\lambda_0 + p_{14}\lambda_1 + p_{24}\lambda_2 + p_{34}\lambda_3 + (p_{44}-1)\lambda_4 + \dots + p_{m4}\lambda_m = 0; \\ \dots \\ p_{0m}\lambda_0 + p_{1m}\lambda_1 + p_{2m}\lambda_2 + p_{3m}\lambda_3 + p_{4m}\lambda_4 + \dots + (p_{mm}-1)\lambda_m = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Далее определим среднее количество этапов обслуживания в системе S_j в расчете на один запрос, приходящего от источника S_p , т.е. коэффициент передач (7).

$$\alpha_j = \frac{\lambda_j}{\lambda_0}, \quad (7)$$

Время обслуживания каждой СМО для модели общей памяти с независимыми блоками определяются аналогично тому, как это осуществляется при исследовании моделей СРМС с бесприоритетными дисциплинами обслуживания [13, 14].

Чтобы рассчитать времена обмена разрабатываемой модели подсистемы «процессор-память» необходимо вычислить характеристики среднего времени ожидания и среднего времени пребывания запроса в каждой СМО и сети в целом.

Когда в СМО поступает M простейших запросов с интенсивностями $\lambda_1, \dots, \lambda_M$, то среднее время ожидания запросов, имеющих приоритеты $k=1, \dots, M$, определится по формуле (8) [3, 7, 9]:

$$\omega_k^{iI} = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i \vartheta_i^2 (1 + \nu_{\vartheta_i}^2)}{2(1 - \sum_{i=1}^{k-1} \rho_i)(1 - \sum_{i=1}^k \rho_i)} \quad (8)$$

где ρ_i – загрузка СМО, определяемая как $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ (λ_i – интенсивность поступления запросов i -го приоритета; μ_i – интенсивность обслуживания запросов i -го приоритета), ϑ_i – среднее время обслуживания запросов i -го приоритета, $\nu_{\vartheta_i}^2$ – коэффициент вариации

$$t_{зан}^{OP} = \tau + (\omega_{к.ОШ}^{OP} + \vartheta_{ОШ}) + (\omega_{к.БЗ}^{OP} + \vartheta_{БЗ})p_{12} + p_{2m}\omega_{к.ОП}^{OP}, \quad (10)$$

где τ – время выдачи адреса данных на ОШ процессором, p_{2m} – вероятность записи в один из модулей общей памяти, причем

$$\sum_{i=4}^m p_{2m} = 1; \quad (i = 4, \dots, m). \quad (11)$$

Запрос на чтение определится следующим образом:

$$t_{чт} = 2\left(\tau + \frac{((\omega_{к.ОШ}^{OP} + \vartheta_{ОШ}) + p_{13}(\omega_{к.БЧ}^{OP} + \vartheta_{ОШ}))p_{OP}}{P_{БЧ}}\right) + p_{3m}\omega_{к.ОП}^{OP}, \quad (12)$$

где p_{OP} – вероятность того, что считываемые данные находятся в ОП, $p_{БЧ}$ – вероятность того, что считываемые данные находятся в БЧ, p_{3m} – вероятность чтения одного из модулей ОП, причем

$$\sum_{i=4}^m p_{3m} = 1; \quad (i = 4, \dots, m). \quad (13)$$

Далее, применив выражение среднего времени пребывания вместо среднего времени ожидания, получим выражение для времени обмена в подсистеме «процессор-память» с относительными приоритетами:

$$t_{обс}^{OP} = 3\tau + 2\left(\frac{(u_{к.ОШ}^{OP} + p_{13}(u_{к.БЧ}^{OP}))p_{OP}}{P_{БЧ}}\right) + u_{к.ОШ}^{OP} + p_{12}u_{к.БЗ}^{OP} + \omega_{к.ОП}^{OP}(p_{2m} + p_{3m}). \quad (14)$$

Заключение. В работе решается задача разработки математической модели специализированной реконфигурируемой многопроцессорной системы, в которой применяется дисциплина обслуживания с относительными приоритетами. Получены выражения для вычисления времени обмена в подсистеме «процессор-память» архитектуры типа UMA, включающей в свой состав проектируемый контроллер памяти. Применение полученных результатов позволит более полно оценить временные характеристики СРМС, параметры которых достаточно близки к показате-

длительности обслуживания запроса i -го приоритета.

Среднее время пребывания найдем через выражение (9) [3, 7, 9].

$$u_k^{iI} = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i \vartheta_i^2 (1 + \nu_{\vartheta_i}^2)}{2(1 - \sum_{i=1}^{k-1} \rho_i)(1 - \sum_{i=1}^k \rho_i)} + \vartheta_j. \quad (9)$$

Имея выражения временных характеристик модели, можно вывести формулы для расчета времени обмена в подсистеме «процессор-память». Согласно [15–17] можно полагать, что обмен в подсистеме «процессор-память» выполняется пословно или по группам слов, тогда для выполнения команды чтения или записи потребуется цикл ОШ, включающий время выполнения работы контроллера памяти и цикл обращения в ОП. Для данной модели применяется режим расщепления транзакций, где при формировании запроса на запись необходима одна транзакция, а для чтения – две. Первая транзакция – выставление адреса в память, который записывается контроллером памяти в БЧ, вторая транзакция является возвращением данных из памяти или БЧ в процессор [18–20].

Основываясь на упомянутых выше принципах теории массового обслуживания, при дисциплине обслуживания с относительными приоритетами для исследуемой модели получим выражение, описывающее время транзакции записи:

лям реальных систем, что обеспечивает возможность повышения быстродействия и производительности СРМС. Для экспериментального подтверждения выдвинутых в настоящей работе положений и проверки эффективности разработанных математических моделей планируется проведение дополнительных натурных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мартышкин, А.И. Современное ранжирование многопроцессорных систем по механизму доступа в память / А.И.

Мартышкин, Д.С. Мартенс-Атюшев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XVII Всероссийской научно-технической конференции. Под ред. И.И. Сальникова. – Пенза. – 2019. – С. 55 – 58.

2. Мартенс-Атюшев, Д.С. Современная классификация многопроцессорных систем / Д.С. Мартенс-Атюшев, А.И. Мартышкин // Научное обозрение. Педагогические науки – 2019. – № 3 – 2. – С. 51 – 54.

3. Майоров С.А., Новиков Г.И., Алиев Т.И., Махарев Э.И., Тимченко Б.Д. Основы теории вычислительных систем. – М.: Высшая школа, – 1978. – 408 с.

4. Бикташев Р.А., Князьков В.С. Многопроцессорные системы. Архитектура, топология, анализ производительности. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, – 2004. – 103 с.

5. Мартенс-Атюшев, Д.С. Исследование и анализ вероятностно-временных характеристик моделей подсистемы «процессор-память» специализированных реконфигурируемых вычислительных систем / Д.С. Мартенс-Атюшев // Сборник тезисов докладов XLVI Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения». 2020. – С. 312-313.

6. Martyshekin A. I., Martens-Atyushev D. S. Experimental study of a reconfigurable system with hardware task manager and a distributed queue // Journal of computational and theoretical nanoscience. 2019. Vol. 16(7). PP.3040-3045.

7. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, – 2009. – 363 с.

8. Джейсуол, Н. Очереди с приоритетами: пер. с англ. И. С. Нефедовой и В.С. Манусевича / под ред. В. В. Калашникова. – М.: Мир, – 1973. – 280 с.

9. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, – 1979. – 432 с.

10. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М.: Мир, – 1979. – 600 с.

11. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. – СПб.: Питер, – 2013. – 816 с.

12. Цилькер Б.Я., Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем 2-е изд. – СПб: Питер, – 2011. – 688 с.

13. Мартенс-Атюшев Д.С. Анализ задержек при проектировании специализированных многопроцессорных систем с применением теории массового обслуживания / Д.С. Мартенс-Атюшев // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук. Материалы VI Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. – 2020. – С. 296–300.

14. Мартенс-Атюшев Д.С. Аналитические выражения для моделирования подсистемы «процессор-память» с буферизации операций чтения и записи в многопроцессорных системах / Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И., Курносов В.Е. // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XVIII Всероссийской научно-технической конференции. – 2020. – С. 82–88.

15. Мартышкин А.И. Разработка и исследование разомкнутых моделей подсистемы «процессор-память» многопроцессорных вычислительных систем архитектур UMA и NUMA / Мартышкин А.И. // Вестник РГРТУ. – 2015. – № 54. – Ч. 1. – С. 121–126.

16. Мартышкин А.И. Моделирование и оценка времени обслуживания операций чтения и записи в многопроцессорных системах с общей памятью / Мартышкин А.И., Карасева Е.А. // Инновации в науке. – 2016. – № 55-2. – С. 83–88.

17. Мартышкин А.И. Математическое моделирование аппаратного буфера памяти многопроцессорной системы / Мартышкин А.И. // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений

и символьной информации. Распознавание-2015: сборник материалов XII Международной научно-технической конференции, – 2015. – С. 247–249.

18. Мартышкин А.И. Разработка аппаратного буферного устройства памяти многопроцессорной системы / Мартышкин А.И. // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-3. – С. 485–489.

19. Костров Б.В. Исследование структурной организации и оценка производительности многопроцессорных вычислительных систем с общей шиной / Костров Б.В., Мартышкин А.И., // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – Вып. 2. – С. 152–162.

20. Мартышкин А.И., Моделирование подсистем памяти мультипроцессоров на основе стохастических сетей массового обслуживания / Мартышкин А.И., Бикташев Р.А. // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей IX Всероссийской научно-технической конференции. Под ред. И.И. Сальникова. – Пенза, – 2011. – С. 98–103.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90093.*

Статья поступила в редакцию 15.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 004

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0010

ТРАНСФОРМАЦИЯ РЫНКОВ СРЕДСТВ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ: ТЕНДЕНЦИИ И ПОЗИЦИИ РОССИИ НА РЫНКЕ СРЕДСТВ ПВО

©2020

Крюков Алексей Анатольевич, сотрудник

*АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей»
(121471, г. Москва, улица Верейская, д. 41, alexeykryukov@yandex.ru)*

Аннотация. В статье дана характеристика и общие тенденции мирового рынка средств ПВО. Проанализирована оценка перспектив экспорта продукции военного назначения. Рассмотрена емкость мирового рынка ВиВТ в разрезе ключевых стран и видов техники в различных сегментах средств ПВО. Обоснованы позиции России на мировом рынке вооружений и перспективные направления производства отечественных средств ПВО российскими корпорациями. Раскрыты ключевые факторы конкурентоспособности российских ЗРС и ПВО в долгосрочном периоде, стимулирующие рост спроса на глобальном рынке на данные образцы техники. Рассмотрены основные новые модели ЗУР в сегменте комплексов малой (и отчасти средней) дальности, которые имеют перспективы в российском экспорте. Идентифицированы основные зарубежные поставщики средств ПВО/НПРО на мировой рынок вооружения. Доказано, что мировой рынок средств борьбы с БЛА развивается ускоренными темпами, поэтому средства ПВО/НПРО отечественного производства являются сложными, наукоемкими и высокотехнологичными образцами ВВСТ, которые перспективно проектировать и поставлять в ВС РФ и на экспорт. Обосновано направления реализации научно-практического потенциала АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» в сегменте проектирования комплексов малой дальности с командным наведением.

Ключевые слова: рынок вооружений и военной техники, средства противовоздушной обороны, продукция военного назначения

TRANSFORMATION OF THE MARKETS FOR ANTI-AIR DEFENSE: TRENDS AND POSITION OF RUSSIA IN THE MARKET OF ANTI-AIR DEFENSE

© 2020

Kryukov Aleksey Anatol'yevich, employee of the

*Almaz-Antey Aerospace Defense Concern JSC
(121471, Moscow, Vereiskaya street, 41, alexeykryukov@yandex.ru)*

Annotation. The article describes the characteristics and general trends of the world market for air defense systems. The assessment of the prospects for the export of military products is analyzed. The capacity of the world AME market is considered in the context of key countries and types of equipment in various segments of air defense systems. The position of Russia in the world arms market and promising directions of production of domestic air defense systems by Russian corporations are substantiated. The key factors of the competitiveness of Russian air defense systems and air defense systems in the long term, stimulating the growth of demand in the global market for these types of equipment, are revealed. The main new models of missiles in the segment of short (and partly medium) range complexes, which have prospects in Russian exports, are considered. The main foreign suppliers of air defense / NMD systems to the world arms market have been identified. It has been proven that the world market for anti-UAV weapons is developing at an accelerated pace, therefore, domestically produced air defense / NMD systems are complex, science-intensive and high-tech weapons and military equipment that are promising to design and supply to the RF Armed Forces and for export. The directions of implementation of the scientific and practical potential of JSC "Concern East Kazakhstan region" Almaz-Antey "in the segment of designing short-range complexes with command guidance have been substantiated.

Keywords: arms and military equipment market, air defense means, military products

Введение. Современные комплексы противовоздушной обороны (далее - ПВО) являются крайне сложными видами боевой техники, и обеспеченность ими определяет уровень развития оборонной промышленности страны. Разработка высокотехнологичных систем ПВО является достижением военной промышленности, требующим внедрения инновационных технологий и дополнительных капитальных вложений в НИОКР. Сегодня только США и Россия показывают высокоэффективные разработки по проектированию комплексов ПВО средней и большой дальности. Западноевропейские государства работают по кооперационным программам, а другие страны сотрудничают с российскими либо американскими

производителями.

В сложившихся условиях высокой изменчивости мировых рынков, значительного уровня неопределенности и рисков в мировой геополитической ситуации и перераспределении ключевых игроков на мировой арене в ужесточении борьбы за ресурсы все больше усиливается необходимость в исследовании и обосновании проектов для государственных корпораций в сфере разработки систем ПВО, работающих на уникальных монополизированных рынках. Поэтому перспективы конструирования и поиска рынков сбыта зенитных ракетных систем и комплексов (далее - ЗРС, ЗРК), систем ПРО, а также средств объектовой обороны от артиллерийских, минометных и ракетных

обстрелов и борьбы с беспилотными летательными аппаратами является предметом повышенного внимания в научной литературе.

Исследованиям тенденций мировых рынков ПВО посвящены научные труды таких авторов, как Дальченко Е.А., Лемешко О.Е., Башкиров Е.Р., Иваха Г.Ю., Юмашева Е.В., Суханова Ю.Н., Черепанов Н.В., Мальцев Н.В., Уваркина М., Молодова А.С., Ягьяев Р.А. и других. Позиционирование России на мировом рынке вооружений рассматривалось в научных трудах таких авторов, как Агибалова Л.С., Бердников П.М., Бондаренко Н.В., Матюшина Е.Ю. и других. Однако в условиях узкой специфики мировых рынков средств противовоздушной обороны и возрастающего спроса на данные виды вооружений, тема исследования не теряет своей актуальности и требует актуализации.

Материалы и методы исследования. Оценивая тенденции мирового рынка вооружений и военной техники (далее - ВиВТ), для объемов экспорта до 2008 года были характерны стабильные годовые темпы роста. Объем экспорта в 2008 году составил 46,985 млрд. долл. Глобальный финансовый кризис 2009 года привел к сокращению экспортных поставок вооружений до рекордного за последние 10 лет значения – 44,655 млрд. долл. Восстановление военного экспорта уже в 2010 году достигло объемов в 53,327 млрд. долл., годовой темп роста при этом составил 19,42%. В 2011 году данный показатель достиг значения в 59,132 млрд. долл. (годовой темп роста - 10,58%) (табл. 1).

Таблица 1 – Ключевые показатели мирового рынка ВиВТ в 2011-2018 гг. [1]

Годы	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2011-2018
Мировые военные расходы, млрд. долл.	1 635,2	1 626,3	1 626,8	1 630,2	1 563,3	1 575,5	1 598,9	1 678,3	12 934,5
Темп прироста цепной, %		-0,54	0,03	0,21	-4,10	0,78	1,48	4,97	
Военный экспорт/импорт, млрд. долл.	59,1	58,2	55,6	67,6	74,3	81,2	86,6	84,8	567,3
Темп прироста цепной, %		-1,64	-4,42	+21,57	+9,98	+9,24	+6,61	-2,08	
Соотношение экспорта/импорта к военным расходам, %	3,62	3,58	3,42	4,15	4,75	5,15	5,41	5,05	4,39
Мировой ВВП, трлн. долл.	72,8	74,2	76,3	78,4	74,2	75,2	79,6	84,2	614,9
Темп прироста ВВП цепной, %		1,90	2,84	2,70	-5,31	1,40	5,82	5,74	

В 2012-2013 гг. наблюдалось сокращение объемов торговли оружием на глобальном рынке, вызванное рецессией мировой экономики. Всемирный экспорт ВиВТ в 2012 году составил 58,160 млрд. долл. с отрицательным годовым темпом прироста в 1,64%. В 2013 году мировой экспорт ВиВТ сократился до 55,590 млрд. долл., годовой темп прироста составил -4,42% [1].

Объемы мировой торговли ВиВТ в 2014 году значительно возросли до 67,584 млрд. долл. (+21,57%). В 2015 году данный показатель достиг 74,334 млрд. долл., темп прироста составил 9,98%. В 2016 году - 81,2 млрд. долл. (темп прироста 9,24%), в 2017 году - 86,572 млрд. долл. (темп прироста 6,61%). В 2018 году динамика торговли вооружением была отрицательна (84,769 млрд. долл., темп прироста составил -2,08%).

Причиной роста объемов экспорта ВиВТ в 2014-2017 гг. является начало поставок США военной продукции в страны Ближнего Востока (прежде всего, Саудовской Аравии) [1].

В 2011-2018 гг. США лидировали по объему заказов на разработку и поставку вооружений – 367,636 млрд. долл., что составляет 45,7% в структуре всемирного портфеля контрактов. В 2017 году США заключили максимальный объем контрактов на сумму 72,311 млрд. долл. (69,75% в структуре портфеля в 2017 году). На втором месте находится РФ, сумма заказов составила 93,940 млрд. долл. (11,7%) в 2011-2018 гг. Другие ключевые западноевропейские поставщики вооружений, в том числе Израиль и Китай, значительно уступают России (табл. 2).

Таблица 2 – Сводный рейтинг крупнейших экспортеров по портфелю заказов ВиВТ в 2011-2018 гг. (млрд. долл. в текущих ценах) [1]

Страна	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2011-2018	Структура, %
США	54,0	33,5	14,8	25,2	56,4	39,5	40,1	72,3	367,6	45,7
Российская Федерация	7,3	14,8	14,9	9,2	18,2	6,6	6,5	16,5	93,9	11,7
Франция	6,6	2,9	5,7	5,2	27,4	18,8	2,6	9,7	79,0	9,8
Германия	2,4	5,0	5,6	6,8	2,3	2,0	2,5	12,6	39,2	4,9
Китай	2,0	4,4	3,4	2,5	6,8	0,9	13,1	2,3	35,3	4,4
Великобритания	1,1	6,3	1,5	0,9	1,7	0,4	7,5	11,7	31,2	3,9
Италия	1,5	2,2	2,6	2,1	1,0	14,1	0,5	3,8	27,8	3,5
Израиль	1,7	3,7	0,7	2,1	1,4	2,9	5,0	2,8	20,4	2,5
Испания	0,2	1,5	0,8	7,6	1,7	3,1	0,5	2,5	18,0	2,2
Швеция	0,6	1,4	0,7	6,8	1,8	0,9	0,2	0,3	12,7	1,6

В 2011-2018 гг. Россией было заключено максимальное число контрактов на экспортные поставки вооружения в страны АТР на общую сумму 41,368 млрд. долл., что составляет 44% от суммы контрактных обязательств с иностранными партнерами (93,940 млрд. долл.). Анализ портфеля экспортных контрактов показал, что на заказчиков из стран Ближнего Востока приходится 24,8 млрд. долл. (26,4%), из стран Северной и Северо-Восточной Африки – 14,286 млрд. долл. (15,2%), из стран постсоветского пространства – 8,498 млрд. долл., из стран Южной Америки (включая Мексику) – 1,807 млрд. долл. [1]

Результаты исследования. Наибольший интерес представляет оценка перспектив экспорта продукции

военного назначения (далее - ПВН) на период 2019-2022 гг. (по состоянию на октябрь 2019 года) на основе сформированного портфеля заказов. Оценка проведена укрупненными показателями за 4 года (табл. 3). На период 2019-2022 гг. объем поставок ВиВТ оценивался исходя из уже подтвержденных контрактов. Расчет построен на основе первоначальных условий контрактов и сроков поставок ПВН. Рыночный прогноз базируется на соблюдении изначально согласованных контрактными обязательствами сроков поставок ПВН. Рейтинг стран построен по финальным итогам за период 2019-2022 гг.

Таблица 3 - Рейтинг стран-экспортеров поставщиков ПВН на период 2019-2022 гг. (млн. долл. в текущих ценах) [1]

Страна	2011-2014	2015-2018	2019	2020	2021	2022	2019-2022	Структура, %
США	92196	133017	41667	38718	49859	57925	188169	44,9
Россия	48831	50060	14839	12499	12719	12147	52205	12,5
Франция	19186	29472	14605	16362	11764	6025	48756	11,6
Италия	7967	7821	2199	3328	5665	6063	17256	4,1
Германия	9464	17721	2933	4223	4669	5047	16872	4,0
Испания	6396	10427	4437	2428	4398	3367	14630	3,5
Китай	6344	12189	2583	3079	2876	2580	11119	2,7
Израиль	7622	10711	2197	3933	1589	2114	9833	2,3
Великобритания	9906	14658	1315	813	2320	2313	6760	1,6
Швеция	6178	2635	588	1500	2348	1756	6192	1,5

Таким образом, можно говорить о стабильно сохраняющемся увеличении доли Российской Федерации в структуре мирового экспорта вооружений на ближнесрочный период.

В 2011-2018 г. сумма мировых поставок средств ПВО составила 59,515 млрд. долл., или 10,49% в структуре поставок всех категорий вооружений. На протяжении исследуемого периода доля поставок ПВО в структуре мировых поставок ВиВТ колебалась от 7,70% в 2014 году до 13,26% в 2016 году [2]. Минимальный фактический объем поставок средств ПВО в данном периоде составил 4,193 млрд. долл. в 2013 году, максимальный – в 2016 году (10,767 млрд. долл.). Максимальный объем продаж в 2011-2018 гг. среди средств ПВО составили продажи зенитных ракетных систем – 53,559 млрд. долл. (90% от общей суммы проданных средств ПВО). Максимальный объ-

ем поставок ЗРС/ЗРК в 2016 году составил 9,877 млрд. долл., минимальный – в 2013 году (3,736 млрд. долл.). На втором месте находятся ПЗРК с объемом поставок на сумму 3,535 млрд. долл. (5,94% в структуре продаж средств ПВО). Максимальный объем поставок ПЗРК наблюдался в 2012 году на сумму 858,6 млн. долл., минимальный – в 2018 году стоимостью 149,6 млн. долл.

Рассмотрим оценку потенциальной емкости рынка на период 2019-2022 гг. в разрезе категорий ВиВТ, на основе заключенных контрактов на октябрь 2019 г. Объемы экспорта по категориям ВиВТ показаны в периодах 4 года, использованных для наглядности оценки (табл. 4).

Таблица 4 - Структура поставок ВиВТ по категориям на период 2019-2022 гг. (млрд. долл. в текущих ценах) [2]

ВиВТ	2011-2014	2015-2018	2019	2020	2021	2022	2019-2022
Техника ПВО	21,72	37,80	10,85	6,71	10,71	13,17	41,45
Структура, %	9,03	11,56	11,21	6,96	9,89	11,21	9,89
Зенитные ракетные системы	18,54	35,02	10,32	5,71	9,47	12,00	37,50
Зенитные артиллерийские установки	0,73	1,69	0,38	0,51	0,64	0,60	2,13
ПЗРК	2,45	1,09	0,15	0,49	0,60	0,58	1,82
БЛА	3,90	6,48	3,24	4,64	2,44	3,35	13,66
Структура, %	1,62	1,98	3,34	4,81	2,25	2,85	3,26
БЛА класса MALE и HALE	2,04	4,71	2,69	4,40	2,25	3,22	12,56
Тактические БЛА	1,55	1,47	0,22	0,14	0,10	0,10	0,55
Мини и микро БЛА	0,32	0,31	0,33	0,10	0,09	0,03	0,55

В ближнесрочной перспективе в структуре мирового военного экспорта наблюдается фактическое сохранение объемов продаж средств ПВО, она сохраняет за собой 4 место (доля сократится с 10,49% до 9,89% – снижение на 0,6 процентных пункта), однако ожидается существенное увеличение доли беспилотных летательных аппаратов в структуре поставок. Существующий уровень развития средств дистанционного управления средствами вооружения кардинально меняет требования к полезной нагрузке и тактике применения летательного аппарата: из обязательных систем исключены системы жизнеобеспечения пилота, снижаются требования по защищенности летательного аппарата, становится принципиально возможной потеря техники в ходе боестолкновения. Также снижаются накладные расходы на ее содержание и эксплуатацию. Данный факт является знаковым в структуре применяемых сил и средств, и в дальнейшем, скорее всего, изменит структуру экспорта средств ПВО России.

На протяжении периода с 2011 по 2018 гг. ежегодный объем вновь заключаемых контрактов на поставку вооружений был выше фактического объема экспорта. Это доказывает стабильное развитие мирового экспортного рынка вооружений. В 2011 году мировой объем военных контрактов составил 142% от фактического экспорта, в 2012 году – 153%, в 2013 году – 126,2%, в 2014 году – 169,3% (максимальный показатель за анализируемый период), в 2015 году – 144,4%, в 2016 году – 124,3%, в 2017 году – 137,5% и в 2018 году – 140,4% [2].

Пакет экспортных заказов на поставку ВиВТ на глобальном рынке в 2011-2018 гг. составил 803,897 млрд. долл., что значительно выше фактического экспорта (567,342 млрд. долл.). Следовательно, «переходящий» портфель мировых заказов на военную продукцию на перспективу по итогам 2011-2018 гг. составляет 236,5 млрд. долл. Пакет заказов на 2020-2022 гг. на средства ПВО проходит стадию окончательного формирования и в ближайшее время стоит ожидать его пополнения [2].

Таким образом, наблюдается устойчивый спрос в ближнесрочной, а скорее всего и в долгосрочной перспективе, на средства противовоздушной обороны при значительном увеличении количества, роли и порядке боевого применения беспилотных летательных аппаратов.

Рассмотрим тенденции мирового рынка ВиВТ в разрезе ключевых игроков и потенциальных потребителей средств ПВО российского производства.

Рейтинг компаний в сфере поставок вооружений формирует, в частности, американский журнал *Defense News*. В этом рейтинге в 2017 году лидером стала корпорация *Lockheed Martin* (США), годовая выручка которой достигла 47,985 млрд. долл., темп роста - 10%. Среди топ-10 также следует назвать компании *Raytheon*, США (выручка 23,573 млрд. долл., темп роста 5%), *BAE Systems*, Великобритания (22,38 млрд. долл., темп роста -5%), *Northrop Grumman*, США (21,7 млрд.долл., темп роста 7%), *Boeing*, США (20,18 млрд. долл., темп роста 2%), *General Dynamics*, США (19,587 млрд.долл., темп роста -1%) и франко-голландский концерн *Airbus* (11,185 млрд.долл., темп роста -9%) [7].

Доходы от поставок военной продукции ста крупнейших производителей в мире составили в 2017 году 375,4 млрд. долл., что на 2,9% выше предыдущего года, однако существенно ниже рекордного значения в 2012 году (401,1 млрд.долл.). В структуре поставок более половины (51,6%) выполнены поставщиками из топ-10 рейтинга *Defense News*, а 71% - из топ-25, что говорит о высокой концентрации мирового рынка вооружений. В США находятся 40 из 100 ключевых производителей оружия в мире, в Европе - 31, в Азиатско-Тихоокеанском регионе - 16. Среди стран Ближнего Востока в топ-100 вошли только 4 компании из Израиля, среди стран Африки и Южной Америки - по одной компании: концерн *Denel* из ЮАР (621 млн. долл.) и *Embraer* из Бразилии (951 млн.долл.). Дан-

ные о выручке производителей вооружений Китая у *Defense News* не представлены, однако по экспертным оценкам, они могли бы занять рейтинге от пятого до десятого места [7].

Российский концерн АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», производитель систем ПВО и ПРО, в 2017 году впервые вошел в топ-10 международного рейтинга производителей вооружений, подготовленного экспертами *Defense News*, заняв 8 место (годом ранее компания была на 11 месте). В отчет *Defense News* за 2019 год, основанный на доходах от продаж продукции военного назначения мировыми производителями в 2018 году, АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» переместился с 8 на 15 место. Среди российских компаний в сфере оборонно-промышленного комплекса ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ОАК) заняла 14-е место с выручкой от поставок военной продукции 6,197 млрд.долл., рост составил 10% (с 5,636 млрд.долл. в 2016 г.). АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» повысила рейтинг с 32 на 25 место, с доходами от поставок вооружений 3,573 млрд.долл. (рост 25%). Холдинг АО «Вертолёты России» расположился на 36 месте (выручка 2,735 млрд. долл.), при этом годом ранее компания в топ-100 рейтинга *Defense News* не была представлена. АО «НПК «Уралвагонзавод» занял 46 позицию (уступив 45 позицию годом ранее) с выручкой 1,865 млрд.долл. АО «Концерн «Радиоэлектронные технологии» поднялся с 50 на 48 позицию с выручкой 1,677 млрд. долл [7].

Рейтинг крупнейших мировых производителей ВиВТ Стокгольмского международного института исследований проблем мира (*SIPRI*) за 2018 год свидетельствует о том, что Россия традиционно занимает одну из лидирующих позиций. Совокупный объем продаж военной продукции 10 российских предприятий в 2018 году составил 36,2 млрд.долл., незначительно сократившись на 0,4% по сравнению с 2017 годом. Доля российских компаний в структуре мировых поставок ПВН в рейтинге *SIPRI* сократилась с 9,7% в 2017 г. до 8,6% в 2018 г. Это было обусловлено ростом объемов продаж Топ-100 поставщиков в 2018 году, преимущественно американских и европейских компаний. В 2018 году продажи военной продукции Концерна Алмаз-Антей возросли не только на фоне высокого внутреннего спроса, но и роста экспортных поставок вооружений (в частности, ЗРК С-400).

Авиационная техника, авиационные средства поражения (АСП) и средства ПВО являются приоритетными в поставках компании «Рособоронэкспорт» (входит в состав Государственной корпорации «Ростех»), единственного российского государственного посредника в сфере внешней торговли продукцией военного и двойного назначения.

Компания «Рособоронэкспорт» в 2019 году представила конкурентоспособные разработки авиационной техники и вооружений, а также средств ПВО, позволяющие России сохранять лидирующие позиции в данных рыночных сегментах. Авиационная техника занимает сейчас около 40% в портфеле заказов компа-

нии, а средства ПВО – более 35%. В 2017 г. удельный вес продукции для ВВС составлял более 50% в структуре поставок компании, а в 2018 г. – более 45%. Незначительное сокращение доли авиационной техники вызвано общим ростом объема поставок в 2018 году до рекордного значения 13,7 млрд. долл. Второй фактор – рост доли средств ПВО за счет согласованных контрактов на поставку ЗРС большой дальности С 400 «Триумф» и других систем, разработанных и произведенных российскими оборонными предприятиями [8].

Рост мирового спроса на ЗРС и ПВО российского производства в долгосрочном периоде объясняется их высокими тактико-техническими параметрами и конкурентными преимуществами над зарубежными аналогами, прежде всего, американскими. По мнению мировых экспертов, технический уровень средств ПВО российского производства позволяет фактически исключить возможность «выживания» авиации ВВС США при вооруженном конфликте. Это является исключительно важным стратегическим преимуществом российских ЗРС на внешних рынках вооружений [15].

Среди комплексов малой (и отчасти средней) дальности разработаны новые модели ЗУР с использованием инновационных головок с активным радиолокационным самонаведением, укомплектованными иногда авиационными ракетами с инфракрасным самонаведением. Среди образцов, пользующихся стабильным спросом на мировом рынке вооружений, – американский *SLAMRAAM* и американско-норвежский *NASAMS*, которые применяют ракеты *AIM-120 AMRAAM*, а также европейский *MICA VL*, израильский *Spyder* [16].

На глобальный рынок вооружений Россия поставляет высокоэффективные ЗРК малой дальности с командным наведением. Например, ЗРК серии «Тор» (импортеры – КНР, Египет, Кипр, Греция, Иран), уникальные зенитные ракетно-пушечные комплексы семейств «Тунгуска» (импортируют Индия и Марокко) и «Панцирь-С1» (импортеры – Сирия, ОАЭ, Алжир) [4]. В некоторых сегментах российские разработки уникальны на мировом рынке, в частности, «Тор» «Панцирь-С1», С-350 [5].

Важным конкурентным преимуществом российских ЗРС по сравнению с зарубежными аналогами является их цена, а также политическая неангажированность, которая проявляется в готовности российских производителей поставлять разрабатываемые системы ПВО в любые государства минуя политические ограничения, в отличие от американских поставщиков вооружений. Это позволяет отдавать предпочтение российским разработкам, например, в сегменте переносных ЗРК [17].

Лидером в поставках техники и вооружений для ПВО является концерн ВКО «Алмаз-Антей». На системы ПВО С 400 «Триумф», «Антей 2500» и С 300ПМУ, а также ЗРК «Бук-М2Э» и семейство ЗРК «Тор-М2» по состоянию на 2019 год сформирован портфель заказов на сумму более 14 млрд. долл.

Сохранение конкурентных позиций России на международном рынке авиатехники в перспективе возможно за счет разработки и экспорта новых высокоэффективных многофункциональных истребителей и улучшенных военно-транспортных самолетов, а также сохранения стабильно высокого спроса на военно-транспортные и боевые вертолеты. Причем, авиационная техника и вооружение являются стратегическими сегментами российского экспорта вооружений.

Крупные контракты на поставку ЗРС С 400 в несколько стран, включая входящую в НАТО Турцию, открыли перед Россией перспективы для продвижения на всемирном рынке вооружений современных высокотехнологичных систем ПВО. Корпорация «Рособоронэкспорт» заключила ряд соглашений о поставке «Триумфов» [8].

В период 2014-2018 гг. Россия усилила свои конкурентные позиции на рынках авиатехники в странах Ближнего Востока, Африки, Азиатско-Тихоокеанского региона и Латинской Америки, при этом средства ПВО пользовались спросом в странах Юго-Восточной Азии и Ближнего Востока. Стратегическими партнерами России по военно-техническому сотрудничеству остаются Индия и Китай.

На мировом рынке вооружений востребованы определенные российские модели авиатехники, АСП и средств ПВО. В сегментах авиации и ПВО перечень образцов вооружения и военной техники, которые можно по праву назвать «бестселлерами», весьма широк: это истребители Су 35 и МиГ 29М/М2, различные модификации Су 30, учебно-боевой самолет Як 130, вертолеты Ми 35М, Ми 171Ш, Ми 17В 5, Ми 26Т2, Ми 28НЭ и Ка 52, а также такие средства ПВО, как ЗРС С 400 «Триумф», ЗРК «Бук-М2Э» и «Тор М2Э», ЗРПК «Панцирь-С1» и ПЗРК «Игла-С» [8].

Высоким спросом у зарубежных заказчиков продолжает пользоваться авиационное ракетное оружие российского производства, прежде всего, управляемые ракеты класса «воздух–воздух» малой и средней дальности. В частности это ракеты Р 73Э и РВВ-АЕ. Вывод на рынок новых моделей управляемых ракет РВВ-МД и РВВ-СД позволит компании «Рособоронэкспорт» укрепить свои позиции в этом сегменте. Проектирование российскими конструкторами управляемой ракеты большой дальности РВВ-БД существенно упрочит экспортный потенциал высокоэффективных современных многоцелевых истребителей поколения 4++, поскольку в этом сегменте зарубежные аналоги российской ракете сегодня отсутствуют.

Укрепление конкурентных позиций России в данных рыночных сегментах связано с проектированием компанией «Рособоронэкспорт» новых моделей техники, в частности, многоцелевой истребитель пятого поколения Су 57Э, истребители Су 30СМЭ и МиГ 35, истребитель-бомбардировщик Су 32 (Су 34Э), военно-транспортный самолет Ил 76МД 90А(Э) и самолет-заправщик Ил 78МК 90А, а также вертолеты Ми 171Ш, Ми 38Т, Ка 226Т и Ка 52 [8].

Перспективы продвижения на мировой рынок ис-

стребителей МиГ 35 достаточно стабильны, эти самолеты уже поставляются ВКС России. Ожидается, что МиГ 35 будет участвовать в тендере на поставку 110 многоцелевых истребителей в Индию, и здесь фактор оснащения этими самолетами Российской армии будет ключевым. В сегменте средних (легких) истребителей МиГ 35 может занять до 25-30% доступного для России рынка [8].

В последнее время импортеры оружия на мировом рынке стремятся сменить традиционную схему «продавец – покупатель» на многоплановое перспективное сотрудничество, которое предполагает совместное проектирование и выпуск образцов продукции военного и двойного назначения, а также применение офсетных и других схем кооперации. Среди ключевых программ в сфере авиации и ракетного оружия в данном направлении являются разработка Россией и Индией сверхзвуковой крылатой ракеты *BRAHMOS*, а также организация в Индии лицензионного производства истребителей Су 30МКИ. Здесь же реализуется проект по совместной разработке вертолетов Ка 226Т, а в Бразилии и Перу в рамках офсетных программ построены сервисные центры по ремонту и обслуживанию вертолетной техники [8].

Таким образом, государства стремятся создавать или наращивать производственные мощности в авиационной промышленности и обосновывать взаимовыгодные формы сотрудничества с Россией для совместного проектирования и выпуска перспективных образцов ВиВТ, в том числе пятого поколения. Компания «Рособоронэкспорт» имеет опыт такого сотрудничества и необходимых компетенций работы в условиях внешнеэкономической деятельности.

Общая доля авиационной техники и средств ПВО в портфеле заказов на российскую продукцию военного назначения (ПВН), сформированном странами Ближнего Востока, составляет порядка 80% по данным на ноябрь 2019 г. Россия поставляет на рынок Ближнего Востока авиационную технику и средства ПВО - самолеты МиГ-29, Як-130, Су-35, вертолеты Ми-28 и Ка-52, современные средства авиационного поражения, зенитные системы С-300ПМУ2, «Антей-2500», зенитные комплексы «Тор-М2К», «Бук-М2Э», «Панцирь-С1», системы управления, тренажеры [9]. Удельный вес стран Ближнего Востока в портфеле российского экспорта ПВН достигает около 10-20% (2 млрд. долл. США в год). Аналогичный удельный вес данных стран в портфеле заказов на российскую ПВН. Продолжаются переговоры по поставке в ОАЭ российских многоцелевых сверхманевренных истребителей поколения 4++ Су-35. Россия и ОАЭ работают над совместным проектом по разработке легкого истребителя 5-го поколения.

Российская компания-спецэкспортер «Рособоронэкспорт» впервые представила проект эшелонированной обороны от БЛА на международной авиационно-космической выставке *Dubai Airshow 2019*. Разработанная двухуровневая концепция, состоящая из устройств радиоэлектронной обороны БЛА, а так-

же средств поражения, нацелена на защиту важных объектов транспортной, топливной и атомной инфраструктуры. Система способна противодействовать любым типам военных и коммерческих БЛА. Наиболее результативными средствами радиоэлектронного противодействия малоразмерным БЛА эксперты считают «Купол», «Сапсан-Бекас», «Репеллент», «Рубеж-Автоматика», «Луч» и «Пищаль» [10].

Инструментом тактической защиты от БЛА является комплекс радиоэлектронного противодействия «Репеллент», спроектированный АО «Оборонительные системы». Для защиты стратегических инфраструктурных объектов применяются комплексы «Сапсан-Бекас», «Купол» и «Рубеж-Автоматика», проектируемые АО «Концерн «Автоматика». В частности, «Сапсан-Бекас» может осуществлять круговое наблюдение или сканировать заданный сектор, обнаруживая БЛА на расстоянии до 20 км и подавляя каналы управления и навигации БЛА в радиусе до 30 км [10].

Развиваются портативные средства борьбы с БЛА. В частности, комплексы «Луч» и «Пищаль» могут подавлять БЛА на расстоянии 6 и 2 км соответственно. Комплекс «Пищаль» обладает незначительной массой (3,5 кг) и может быть частью индивидуального комплекта системы борьбы с БЛА.

Разработанной эшелонированной системой противодействия БЛА уже заинтересовались заказчики на Ближнем Востоке, в Северной Африке и других регионах. Необходимость защиты от усовершенствованных противниками БЛА с новейшими техническими характеристиками требуют доработки эксплуатируемых сегодня российских систем ПВО. Сейчас ЗРПК «Панцирь» способен уничтожать и реактивные снаряды, и БЛА, в том числе недвижимые в воздухе. При этом, поражение БЛА ракетами экономически неоправданно, целесообразны другие средства противодействия, в том числе системы радиоэлектронной борьбы.

Потенциальная емкость рынка средств противодействия БЛА экспертами оценивается в более 2 млрд. долл. к 2024 году, тогда как ущерб, наносимый БЛА, существенно выше. Спрос на данные виды техники обусловлен существенным ростом количества случаев боевого применения БЛА для поражения средств противника. Низкая цена, доступность и простота в управлении позволяет широко применять БЛА как одни из наиболее эффективных ударных средств.

В последние годы США существенно продвинулись в разработке средств противодействия БЛА. В данном рыночном сегменте разработаны средства обнаружения малозаметных БЛА, кинетические и некинетические средства прерывания полета БЛА, а также устройства выявления и устранения БЛА. По данным Исследовательской службы Конгресса США, по состоянию на начало 2018 года на рынке функционировало 235 систем противодействия БЛА, разработанных 155 компаниями.

Техническое усовершенствование атакующих БЛА и тактика их боевого применения являются пред-

метом интереса разработчиков стран мира. Проектировщики разрабатывают концепцию использования «роя беспилотников», когда высокоприоритетную цель могут штурмовать сотни сравнительно экономичных малоразмерных и малозаметных БЛА, управляемых программным обеспечением [10]. В частности, в июле 2017 года концерн *Leonardo* (Италия) получил заказ на сумму 16 млн.долл. от сухопутных войск США на проектирование мобильной системы противодействия БЛА. На международной выставке вооружений *DSEi 2019* в Лондоне было заключено соглашение между ВВС Великобритании и концерном *Leonardo* на разработку данной системы.

Рассмотренные факторы стимулируют спрос на средства борьбы с БЛА на мировом рынке, что актуально для разработок «Рособоронэкспорта». Построение системы обороны только на основе средств борьбы с БЛА, функционирующих с целью подавления сигналов управления, сегодня в условиях технического усовершенствования устройств недостаточно результативно для надежного прикрытия стратегических инфраструктурных объектов. Для этого целесообразно использовать средства ПВО. Портфель средств борьбы с воздушными целями «Рособоронэкспорта» включает высококонкурентные системы и комплексы ПВО, а также многошелонированные интегральные системы защиты от средств воздушной атаки.

Емкость мирового рынка средств борьбы с БЛА (*Counter-Unmanned Aerial Vehicle, C-UAV*) все больше расширяется и по информации аналитического агентства *Frost & Sullivan* в ближайшие годы составит 2 млрд.долл. Компании оборонно-промышленного комплекса, в частности, «Ростех», разрабатывают различные средства радиоэлектронной борьбы, включая высокомобильные средства, адаптированные для использования гражданскими объектами, промышленными предприятиями.

По оценке исследовательской компании *Research & Markets*, текущий финансовый объем мирового рынка систем борьбы с БЛА составляет 502 млн.долл., из которых на коммерческие системы приходится 123 млн.долл., а на военные - 379 млн.долл. К 2026 году эти показатели возрастут до 1,496 млрд.долл. - 273 млн.долл. и 1,223 млрд.долл. соответственно [10].

Обсуждение. Ключевым игроком рынка средств ПВО является АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» - интегрированная структура и один из первых холдингов радиоэлектронной промышленности полного цикла в России. Концерн разрабатывает, производит модернизирует, обслуживает, поддерживает работоспособность, ремонтирует и утилизирует ЗРС и ЗРК, их элементов, РЛК, РЛО, систем автоматизированного управления оружием и иной продукции различного назначения. Средства ПВО/НПРО производимые Концерном - это сложные, наукоемкие и высокотехнологичные образцы ВВСТ, которые поставляются в ВС РФ и на экспорт.

В России Концерн лидирует в ОПК в сфере проектирования систем ПВО/ПРО. Концерн разрабатывает

и поставляет продукцию по заказам Минобороны в рамках ГОЗ и Государственной программы вооружения. Общая доля Концерна в разработке, серийном производстве и эксплуатации средств ПВО/НПРО в рамках ОПК России составляет 75-80 % [11].

В Концерн входят большинство разработчиков и производителей систем и средств ВКО в России. В сегменте ЗРС большой и средней дальности на российском рынке Концерн является монополистом.

Концерн наращивает объемы выпуска средств ПВО, улучшает результаты НИОКР, которые позволяют разрабатывать современные ПВН с высокими техническими параметрами. Все это позволяет сделать вывод, что сложившееся на сегодняшний день устойчивое положение Концерна сохранится в ближайшем будущем [12].

Концерн и его дочерние общества, прежде всего НПО «Алмаз», являются разработчиками большинства эксплуатируемых автоматизированных систем управления средствами ПВО эксплуатируемых Министерством обороны России, таким как «Байкал», «Эльбрус», «Вертикаль», «Фундамент», «Москва», «Универсал», «Пирамида», АСУ Войск ПВО и ВКО [13].

Концерн занимает устойчивое положение на глобальном рынке средств ПВО/НПРО. По оценкам экспертов, доля ПВН из ассортимента Концерна составляет 65-75 % в общероссийской структуре экспорта средств ПВО/НПРО. Экспортные заказы составляют крупную долю общего портфеля заказов компании.

Основными зарубежными поставщиками средств ПВО/НПРО на мировой рынок вооружения являются компании из США (*Lockheed Martin, Raytheon Company*), стран Западной Европы (*Thales* - Франция, *Saab* - Швеция, *Kongsberg* - Норвегия, *MBDA* - консорциум компаний Италии, Великобритании, Франции, Германии) и Израиля (*IAI* и *Rafael*) [13]. Правительства данных государств традиционно рассматривают экспорт ВВСТ, в том числе систем ПВО, как стратегическое направление обеспечения национальных интересов, требующее приоритетных мер государственной поддержки для сохранения и укрепления позиций компаний-экспортеров на мировом оружейном рынке [14].

Несмотря на ужесточение конкуренции на мировом рынке ПВН, АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» в последние годы смогла сохранить стабильные позиции на фоне ключевых игроков. Анализ существующих средств радиолокационного обнаружения показывает, что основное приложение научно-практического потенциала Концерна будет необходимо произвести в данном сегменте. Все эксплуатируемые системы зенитно-ракетного и зенитно-артиллерийского вооружения были сконструированы и предназначены для борьбы с воздушными целями малых, средних и крупных размеров. Затем были разработаны системы ЗРК, ПЗРК, ЗПРК для поражения малоразмерных целей. Современные БЛА обладают ЭПР на два-три порядка меньше, чем ЭПР типового истребителя, по-

этому показатели разведывательных и огневых возможностей противостояния таким СВН значительно снижаются.

Заключение. Проведенный анализ показал, что рост спроса на глобальном рынке на ЗРС российского производства в долгосрочном периоде объясняется их высокими тактико-техническими параметрами и преимуществами российских ЗРС над западными аналогами, прежде всего, американскими. В ближнесрочной перспективе в структуре мирового военного экспорта наблюдается фактическое сохранение объемов продаж средств ПВО. Пакет заказов на 2019-2022 гг. в части средств ПВО в настоящий момент сформирован более чем на 50%, следует ожидать заключения дополнительных контрактов. Наблюдается устойчивый спрос в ближнесрочной, а скорее всего и в долгосрочной перспективе, на средства противовоздушной обороны при значительном увеличении количества, роли и порядке боевого применения беспилотных летательных аппаратов. Основные тенденции в развитии новейших комплексов ПВО заключаются в появлении возможности работы по малоразмерным целям, сохранении многоканальности, возможность поражения высокоскоростных целей, в том числе баллистических.

В последние годы Россия наращивает долю мирового рынка ЗРС/ЗРК за счет высокой конкурентоспособности российских средств ПВО и разработанных российскими конструкторами систем всех возможных классов. На мировом рынке Россия предлагает высокоэффективные комплексы малой дальности с командным наведением. Как показывает анализ существующих средств радиолокационного обнаружения, реализацию научно-практического потенциала АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» будет целесообразно произвести в данном сегменте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глава 1. Мировые расходы на оборону в 2011-2018 гг. Сайт ЦАМТО. [Электронный ресурс]. URL: <https://armstrade.org/pages/main/magazines/yearly/report/1/index.shtml>
2. Статистика и анализ мировой торговли оружием. Ежегодник ЦАМТО – 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://armstrade.org/files/yearly_2019_1_1.pdf
3. Агибалова Л.С. Позиционирование России на мировом рынке вооружений // Инновационные процессы в научной среде. Сборник статей международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2017. С. 11-13.
4. Бердников П.М. Россия на международном рынке вооружений // Современное состояние и перспективы развития национальной финансово-кредитной системы Сборник материалов III Международной научной конференции студентов специалитета, бакалавриата и магистратуры. Под редакцией С.П. Федосовой. 2019. С. 334-336.
5. Бондаренко Н.В., Магюшина Е.Ю. Проблемы повышения конкурентоспособности России на мировом рынке вооружений и военной техники // Проблемы устойчивого развития экономики в условиях геополитических вызовов современности Материалы Международной заочной научно-практической конференции. 2017. С. 23-26.
6. Дальченко Е.А., Лемешко О.Е. Мировой рынок вооружений. экспорт и импорт вооружения России // Лучшая научная статья 2019. Сборник статей XXVIII Международного научно-исследовательского конкурса. 2019. С. 29-32.
7. «Алмаз-Антей» вошел в топ-10 производителей оружия по версии Defense News [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/business/13/08/2018/5b712e1d9a79474bdec9cb8f>
8. «Рособоронэкспорт»: акцент на авиацию и средства ПВО <http://www.take-off.ru/item/4200-rosoboronexport-aktsent-na-aviatsiyu-i-sredstva-pvo>
9. ФСВТС: Доля авиации и ПВО в ближневосточном портфеле заказов техники из России достигает 80% [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aex.ru/news/2019/11/18/204848/print/>
10. Новичков Н., Федюшко Д., Азанов Р. «Антидроны» против «роя». Россия выходит на мировой рынок систем борьбы с беспилотниками [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aviaport.ru/digest/2019/11/19/615213.html>
11. Зайцев Н. А., Платов А. В., Потапов В. А. Радиолокационные станции разведки наземных движущихся целей. Современный уровень и основные направления развития // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». № 1. 2014. С. 41-44.
12. Аминов С. Итоги деятельности Концерна ПВО «Алмаз-Антей» в 2019 году // Экспорт вооружений. №6(147). С. 2-5.
13. Безель Я. В. Развитие и совершенствование автоматизированных систем управления воздушно-космической обороны и испытательной базы межвидового испытательного полигона Минобороны России // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». № 2. 2015. С. 13-15.
14. Башкиров Е.Р., Иваха Г.Ю., Юмашева Е.В. Россия на мировом рынке вооружения: современное состояние и перспективы развития // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 4-5. С. 758-762.
15. Мазур А.А. Роль и место России на мировом рынке вооружений и военной техники // Новая наука: Стратегии и векторы развития. 2016. № 9. С. 187-195.
16. Мальцева А.С. Россия на мировом рынке вооружений и военной техники в конце 20 - начале 21 вв. // Научные исследования: ключевые проблемы III тысячелетия Сборник научных трудов по материалам XXIII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 38-40.
17. Суханова Ю.Н. Россия на мировом рынке вооружений и военной техники в современных условиях // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. 2019. № 21. С. 79-83.
18. Уваркина М., Молодова А.С. Военно-промышленный комплекс России и его место на международном рынке вооружений и военной техники // Школа юных инноваторов. Сборник научных статей Итоговой конференции проектов. 2018. С. 394-396.
19. Черепанов Н.В., Мальцев Н.В. Конкурентоспособность предприятий оборонно-промышленного комплекса России на международном рынке вооружений // Конкурентоспособность субъектов хозяйствования в условиях новых вызовов внешней среды: проблемы и пути их решения Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Н.В. Мальцева. 2019. С. 394-398.
20. Ягьяев Р.А. Проблемы и перспективы участия России на мировом рынке вооружений и военной техники // Инновационная наука. 2018. № 1. С. 43-47.

Статья поступила в редакцию 16.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 004.94

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0011

**РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ВИДЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
«ОЦЕНКА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО
ДОКУМЕНТООБОРОТА И ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА»**

© 2020

Перепелкина Ольга Александровна, аспирант

Кондратов Дмитрий Вячеславович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «ПИТ»,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.;
профессор кафедры «Математическое и компьютерное моделирование»

Саратовский национальный исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского;
доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий в управлении
*Поволжский Институт Управления имени П.А. Столыпина – филиал «Российская академия народного
хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»*
(410012, Россия, Саратов, улица Московская, 164, e-mails: lolga77@mail.ru kondratovdv@yandex.ru)

Аннотация. В настоящее время цифровые технологии, инновационные бизнес-модели проникают во все сферы жизни общества, оказывая существенное влияние на экономику, образовывая в ней качественные структурные изменения. Развитие информационных технологий, в том числе и развитие электронного документооборота и делопроизводства предоставляет возможность решить многие проблемы в государственном и корпоративном управлении. Однако внедрение системы электронного документооборота и делопроизводства (СЭДД) осуществляется недостаточно высокими темпами, что во многом связано с отсутствием четкой системы контроля эффективности внедрения электронного документооборота и делопроизводства. Таким образом, актуальность исследования вызвана важностью повышения эффективности СЭДД в исполнительных органах государственной власти, что становится возможным лишь при применении математических моделей, современных и надежных алгоритмов и комплексов программ оценки качества по определенным критериям. Цель исследования заключается в разработке математических моделей, программного комплекса для повышения результативности работы исполнительных органов государственной власти. Основными выводами проведенного исследования является то что, используя математическое моделирование построена математическая модель оптимизации бизнес-процессов при внедрении СЭДД в исполнительных органах государственной власти. На ее основе разработан программный комплекс «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД» в среде программирования C#.

Ключевые слова: Цифровизация, цифровая экономика, цифровое государственное управление, цифровая трансформация, система электронного документооборота, критерии оценки внедрения, оценка эффективности внедрения систем электронного документооборота и делопроизводства, математическое моделирование.

**IMPLEMENTATION OF THE MATHEMATICAL MODEL IN THE FORM OF THE SOFTWARE
COMPLEX "EVALUATION OF MANAGEMENT PROCESSES FROM THE IMPLEMENTATION OF
THE ELECTRONIC DOCUMENT FLOW AND OFFICE MANAGEMENT SYSTEM"**

© 2020

Perepelkina Olga Aleksandrovna, postgraduate student

Kondratov Dmitry Vyacheslavovich, doctor of physical and mathematical Science, professor Department «AIInT»
Yuri Gagarin state technical university of Saratov
Professor Department «Mathematical and computer modeling»
Saratov State University

doctor of physical and mathematical Sciences, associate Professor, head of the Department of applied
Informatics and information technologies in management

*Volga Management Institute named after P.A. Stolypin - a branch of Federal State-Funded Educational
Institution of Higher Education Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration
The Volga Institute of management named P. A. Stolypin – branch of FGB OU IN the Russian Academy on
national economy and state service under the President of the Russian Federation*
(410012, Russia, Saratov, street Moskovskaya, 164, e-mails: lolga77@mail.ru kondratovdv@yandex.ru)

Abstract. Currently, digital technologies and innovative business models are penetrating all spheres of society, having a significant impact on the economy, forming qualitative structural changes in it. The development of information technologies, including the development of electronic document management and office management, provides an opportunity to solve many problems in public and corporate governance. However, the implementation of the electronic document management system (EDM) is not fast enough, which is largely due to the lack of a clear system for monitoring the effectiveness of the implementation of electronic document management and records management. Thus, the relevance of the research is caused by the importance of improving the efficiency of SADD in Executive bodies of state

power, which becomes possible only when using mathematical models, modern and reliable algorithms and complexes of quality assessment programs based on certain criteria. The purpose of the research is to develop mathematical models and software to improve the performance of Executive bodies of state power. The main conclusions of the study are that using mathematical modeling, a mathematical model for optimizing business processes in the implementation of SADD in Executive bodies of state power is constructed. Based on it, the software package "Assessment of management processes from the implementation of SADD" in the C# programming environment was developed.

Keywords: Digitalization, digital economy, digital public administration, digital transformation, electronic document management system, implementation evaluation criteria, evaluation of the effectiveness of electronic document management and office management systems, mathematical modeling.

Введение. Цифровая экономика - это система экономических, социальных и культурных отношений на основе использования цифровых информационно-коммуникационных технологий. В своих работах Асаул В.В., Волкова А.А., Докукина И.А., Плотников В.А., Прокопьева Т.В., Прокопьев А.В., Попова А.Ю., Полянин А.В., Пшеничников В.В., Рукинов М.В., Михайлова А.О., Минаков Лобанов О.С., В.Ф., Шуваев А.В. отмечали что, развитие цифровой экономики, в том числе, повышает качество предоставления государственных услуг. Благодаря цифровизации и другим технологическим изменениям, Россия вступила в новую эпоху глобальных перемен, а также происходит многоохватное внедрение цифровых технологий в функционирование органов государственной власти и органов местного самоуправления (далее - Органы власти) [1-6].

Однако, цифровая экономика в России начала использоваться с 2017 года, что подтверждается принятыми следующими нормативно-правовыми документами: Указ Президента Российской Федерации №203 от 09.05.2017 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы»; распоряжение Правительства Российской Федерации №1632-р от 28.07.2017, утвердившее программу «Цифровая экономика Российской Федерации»; Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», а также сформирована национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утвержденная протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 04.06.2019 №7 [7-11].

Ранее, в работе [12], мы определили, что внедрение системы электронного документооборота и делопроизводства (далее – СЭДД) осуществляется недостаточно высокими темпами, что во многом связано с отсутствием четкой системы контроля эффективности внедрения электронного документооборота и делопроизводства, что мешает оперативно корректировать и вносить соответствующие изменения в систему.

Можно согласиться с высказанным мнением Фионовой Л.Р. о том, что повышение качества управленческих решений во многом зависит от уровня организации документационного обеспечения [13].

Проанализировав работы следующих ученых: Chen H., Ghani, E.K., Anvari, A., Боргояковой Т.Г., Ло-

зицкой Е.В. можно сделать следующий вывод: при разработке СЭДД необходимо использовать методы системного анализа и математического моделирования [14-18].

Ранее, в работе [19] мы отметили, что построенная математическая модель позволяет описать наиболее значимые связи между объектами, оценить разные параметры зависимостей, а также спрогнозировать негативные последствия, а затем в дальнейшем, выработать наилучшее решение.

Материалы и результаты исследования. Объектом моделирования нашего исследования является СЭДД. Повышение эффективности управленческой деятельности; ускорение движения документов и уменьшение трудоемкости обработки документов являются основными целями моделирования документопотоков в исполнительных органах государственной власти (далее – ИОГВ). Цель исследования – разработка математических моделей и программного комплекса для повышения результативности работы ИОГВ.

Рассмотрим процесс разработки математической модели оптимизации бизнес-процессов при внедрении СЭДД и создание на ее основе программного комплекса «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД» (далее - ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД»).

В работе [20] мы определили, что результат от внедрения СЭДД можно разделить на две части: прямой эффект от внедрения системы, связанный с экономией средств на материалы, рабочее время сотрудников и т.д., косвенный эффект, связанный с теми преимуществами для функционирования организации, которые дает система электронного документооборота (прозрачность управления, контроль исполнительской дисциплины, возможность накопления знаний и др.). Ко второй группе эффектов относятся: своевременность и оперативность принятия решений; экономия рабочего времени на работу с документами и др.

В системе государственного управления, одной из важнейших задач является оптимизация процесса делопроизводства, которая является залогом сохранения и увеличения производительности труда сотрудников.

При внедрении СЭДД в ИОГВ, а также при оптимизации численности штатных сотрудников ИОГВ актуальным является вопрос оптимизации бизнес-процессов - сокращение сотрудников (штатных единиц), которые занимаются вопросами делопроизводства в ИОГВ (экономический эффект при использовании

СЭДД, высвобождение должностных ставок в ИОГВ).

При оптимизации бизнес-процессов при внедрении СЭДД в Органы власти актуальными показателями являются следующие критерии: общая доля документов, зарегистрированных в СЭДД; доля входящих документов, зарегистрированных в СЭДД; доля исходящих документов, зарегистрированных в СЭДД; доля организационно-распорядительных документов, зарегистрированных в СЭДД; среднее количество документов, создаваемых 1 сотрудником в месяц; время, затраченное на создание внутренних документов при электронном документообороте; время, затраченное на создание внутренних документов при смешанном документообороте; экономия времени; время, затрачиваемое на бумажный документооборот в месяц и др.

Представим оптимизацию бизнес-процессов при внедрении СЭДД в виде математической модели. Для этого введем обозначения (критериальные значения, константы) и представим данные в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Оптимизация бизнес-процессов при внедрении СЭДД.

Наименование показателя	Критериальные значения
Общее количество сотрудников, чел.	A
Количество сотрудников работающих в СЭДД, чел.	C
Количество сотрудников, работающих с бумажными документами, чел.	E
Всего документов (общее количество документов в ИОГВ (электронный и бумажный), шт.	D
Среднее количество документов, создаваемых 1 сотрудником в месяц, шт/чел.	D_{cr}
Время, затрачиваемое на бумажный документооборот в месяц	V_d
Время, затрачиваемое на электронный документооборот в месяц	V_{ed}
Эталонное время, затрачиваемое сотрудниками при полном электронном документообороте в месяц	V_{eed}
Фактически затрачиваемое время сотрудниками при смешанном документообороте в месяц	V_{fd}
Экономия времени в месяц	V_e
Экономический эффект при использовании СЭДД (высвобождение ставок), ед.	S_{ek}

Используя критериальные значения, построим математическую модель оптимизации бизнес-процессов при внедрении СЭДД. Математический расчет представим в следующем виде, где:

Среднее количество документов, создаваемых 1 сотрудником в месяц, шт/чел.: $D_{cr} = \frac{D}{A}$ (1)

Время, затрачиваемое на бумажный документооборот в месяц: $V_d = E * D_{cr} * 0,25$ (2)

Время, затрачиваемое на электронный документооборот в месяц: $V_{ed} = C * D_{cr} * 0,08$ (3)

Эталонное время, затрачиваемое сотрудниками при полном электронном документообороте в месяц:

$$V_{eed} = A * D_{cr} * 0,08 \quad (4)$$

Фактически затрачиваемое время сотрудниками при смешанном документообороте в месяц:

$$V_{fd} = V_d + V_{ed} \quad (5)$$

Экономия времени в месяц:

$$V_e = V_{fd} - D_{eed} \quad (6)$$

Экономический эффект при использовании СЭДД (высвобождение ставок), ед.:

$$S_{ek} = V_e / 176 \quad (7)$$

Построенную математическую модель оптимизации бизнес-процессов при внедрении СЭДД (предварительно выполнив необходимые преобразования), представим в следующем виде:

$$S_{ek} = \frac{V_e}{176} = \frac{V_{fd} - V_{eed}}{176} = \frac{V_d + V_{ed} - A * D_{cr} * 0,08}{176} = \frac{E * D_{cr} * 0,25 + C * D_{cr} * 0,08 - A * D_{cr} * 0,08}{176} = \frac{D_{cr} * 0,08}{176} * (3,125 * E + C - A) = \frac{D_{cr}}{2200} * (3,125 * E + C - A) \quad (8)$$

Таким образом, разработанная модель предназначена для имитационного моделирования и прогнозирования косвенного эффекта (который сложнее всего оценить при внедрении СЭДД - прозрачность управления, контроль исполнительской дисциплины, возможность накопления знаний и др.). Модель позволяет, учитывая факторы воздействия, принимать руководителю Органа власти управленческие решения.

На основе разработанной математической модели был разработан ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД».

При разработке ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД» использовался объектно-ориентированный язык программирования - C#.

Блок-схема ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД» представлена на рисунке 1.

Рассмотрим обзорно функциональные возможности ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД».

На рисунке 2 представлен интерфейс ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД».

ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД», состоит из 2 разделов: «Данные» и «Расчет».

Раздел «Данные» предназначен для ввода необходимой информации для расчета и содержит в себе следующие показатели, которые представлены на рисунке 3.

При внесении необходимых данных пользователь может, как самостоятельно вносить данные с клавиатуры, так и воспользоваться импортом заполненного ранее файла в формате .xls.

После выполнения импорта (или заполнения данных вручную – на выбор пользователя) происходит автоматический расчет данных и построение диаграмм (вид каждой диаграммы пользователь может выбирать самостоятельно).

Также пользователь, при необходимости, может добавить или удалить год и отправить на печать информацию.

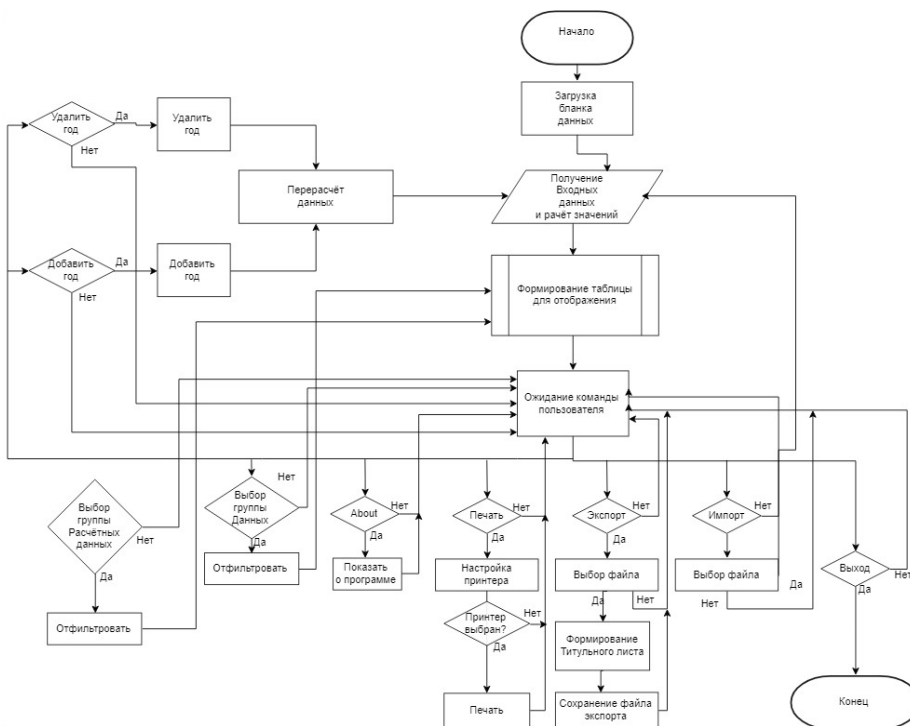


Рисунок 1 - Блок-схема ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭД»

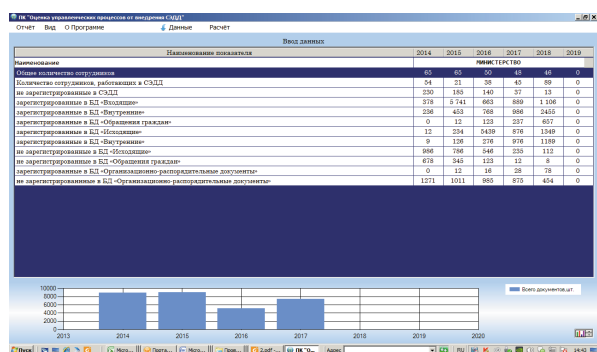


Рисунок 2 - Интерфейс ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭД»

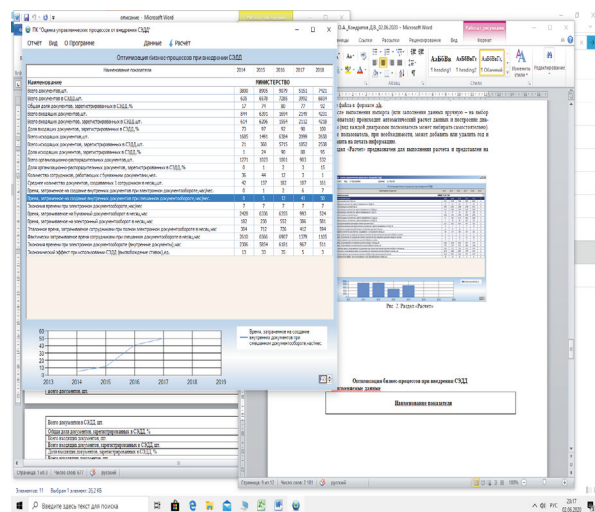


Рисунок 4 – Раздел «Расчет» ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭД»

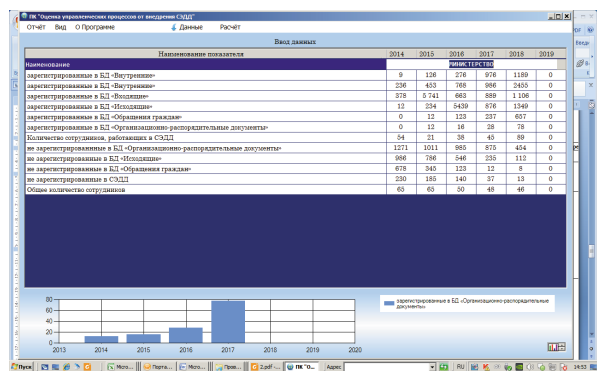


Рисунок - 3. Раздел «Данные» ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭД»

Раздел «Расчет» ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭД» предназначен для выполнения расчета, показатели которых представлены на рисунке 4.

Выводы. Таким образом, результатом работы является разработанный ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭД» на основе математической модели оптимизации бизнес-процессов внедрения СЭД, который позволяет оценить разные параметры зависимостей и определить экономический эффект при внедрении СЭД, а также может быть предназначен для оценки эффективности внедрения СЭД в Органах власти различного уровня, в организациях (предприятиях), а также он может быть применен в организациях, занимающихся внедрением электронного документооборота.

ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭД» зарегистрирован в Реестре программ

для ЭВМ - 05.03.2019.

Применение ПК «Оценка управленческих процессов от внедрения СЭДД» в Минпроме Пензенской области позволило реализовать мероприятия оптимизации численности штатных сотрудников, которые занимаются вопросами делопроизводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Прокопьева Т.В., Прокопьев А.В., Попова А.Ю. Цифровая экономика — взгляд в будущее // Open innovation: Сб. ст. V Международной научно-практической конференции. Пенза, 2018. С. 97–101.
2. Асаул В.В., Михайлова А.О. Обеспечение информационной безопасности в условиях формирования цифровой экономики // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2018. № 4 (38). С. 5–9.
3. Минаков В.Ф., Шуваев А.В., Лобанов О.С. Эффект цифровой конвергенции в экономике // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. № 2 (110). С. 12–18.
4. Полянин А.В., Докукина И.А. Трансформация социально-экономических отношений на основе цифровизации бизнес-пространства // Труд и социальные отношения. 2018. № 6. С. 16–27.
5. Пшеничников В.В. Перспективы и риски применения электронных денег в условиях цифровизации экономики // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. № 1 (109). С. 39–45.
6. Волкова А.А., Плотников В.А., Рукинов М.В.: Цифровая экономика: сущность явления, проблемы и риски формирования и развития. 2019;(4):38-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2019-4-38-49>.
7. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 №203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы».
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 № 1632-р «Об утверждении программы Цифровая экономика Российской Федерации».
9. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858>.
10. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утвержденная протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 04.06.2019 №7.
11. Perepelkina O., Kondratov D. (2019) Mathematical Modeling of Electronic Records Management and Office Work in the Executive Bodies of State Administration. In: Dolinina O., Brovko A., Pechenkin V., Lvov A., Zhmud V., Kreinovich V. (eds) Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT 2019. Studies in Systems, Decision and Control, vol 199. Springer, Cham.
12. Фионова Л.Р. Грамотное управление документами - основа эффективного управления Теория и практика общественного развития. 2014. № 6. с. 115-119.
13. Chen H. Business Intelligence and Analytics: from Big Data to Big Impact / H. Chen, R. H. L. Chiang, V. C. Storey // MIS Quarterly : Management Information Systems. – 2012. – Vol. 36, No. 4. – P. 1165 – 1188.
14. The Evolution, Challenges, and Future of Knowledge Representation in Product Design Systems / S.K. Chandrasegaran [et al.] // Computer-Aided Design. – 2013. – Vol. 45. – P. 204 – 228. doi: 10.1016/j.cad.2012.08.006.
15. Ghani, E.K. Development of Integrated Information Management System Service Quality Model in an Accounting Faculty / E.K. Ghani, K. Muhammad, J. Said // International Journal of Business and Social Science. – 2012. – Vol. 3, No. 7. – P. 245 – 252.
16. Anvari, A. An Investigation of Innovation in Higher Educational Environments A Consideration of Five Substructures (Technical, Administrative, Information Systems, Information Technology and Knowledge Management) / A. Anvari, G. A. Alipourian, R. M. A. Taleb-Beidokhti // Middle-East Journal of Scientific Research. – 2012. – No. 11 (9). – P. 1278 – 1285. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2012.11.09.3780.
17. Боргоякова Т.Г., Лоцицкая Е.В. Математическое моделирование: определение, применимость при построении моделей образовательного процесса // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/82TVN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
18. Переpelкина О.А. Математическое моделирование системы электронного документооборота и делопроизводства в исполнительных органах государственной власти на примере Пензенской области // Интернет-журнал «Наукoведение» Том 9, №6, (2017), <https://naukovedenie.ru/PDF/89TVN617.pdf>.
19. Переpelкина, О.А., Кондратов, Д.В. Оценка ключевых показателей эффективности внедрения системы электронного документооборота в исполнительных органах государственной власти Пензенской области/сборник: Проблемы управления, обработки и передачи информации сборник трудов IV Международной научной конференции: В 2 томах, 230-234 (2015).

Статья поступила в редакцию 31.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК. 004.93'11

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0012

НЕПРЕРЫВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНТЕКСТА СОСТОЯНИЙ

©2020

Пашенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, ректор ПензГТУ
Бальзанникова Елена Алексеевна, младший научный сотрудник отдела научных исследований
Пензенский государственный технологический университет
(440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11,
e-mails: dmitry.pashchenko@gmail.com, elenabalzannikova@gmail.com)

Аннотация. В данной статье рассмотрен актуальный вопрос обеспечения безопасности информационных систем. Особое внимание уделяется биометрическим методам. В частности, подробно рассмотрены различные механизмы аутентификации и идентификации пользователей на основе анализа клавиатурного почерка. Рассмотрены его основные виды, свойства и параметры. На основании выделенных характеристик был предложен собственный способ представления биометрических данных клавиатурного почерка на основе формальной модели клавиатуры и описании её состояния. Предложенный метод рассматривает процесс набора текста как последовательную смену состояний, участок определённой длины которого обозначен «контекстом состояния». Кроме того, описана реализация программного компонента, который осуществляет формирования контекста состояний согласно предложенному методу.

Ключевые слова: клавиатурный почерк, биометрия, системное программное обеспечение

CONTINUOUS KEYSTROKE DYNAMICS USER IDENTIFICATION USING STATE CONTEXT REPRESENTATION

© 2020

Pashchenko Dmitriy Vladimirovich, doctor of Technical Sciences,
rector of Penza State Technological University
Balzannikova Elena Alekseevna, junior researcher of the scientific research department
Penza State Technological University
(440039, Penza, Baydukov passage / Gagarin street, 1a / 11,
e-mails: dmitry.pashchenko@gmail.com, elenabalzannikova@gmail.com)

Abstract. This article discusses the issue of ensuring the security of information systems. Particular attention is paid to biometric methods. In particular, various mechanisms of user authentication and identification based on the analysis of keystroke dynamics are considered in detail. Its main types, properties and parameters are considered. Based on the characteristics identified, a proprietary way of representing biometric data of the keystroke dynamics was proposed based on a formal keyboard model and a description of its state. The proposed method considers the process of typing as a sequential change of states, a section of a certain length which is designated by the "state context". In addition, the article describes implementation of a software component that implements the formation of the state context according to the proposed method.

Keywords: keyboard handwriting, biometrics, system software

Введение. Развитие современных информационных и интернет технологий предъявляет все большие требования к системам безопасности, которые выполняют ряд важнейших функций:

- предотвращение несанкционированного доступа к данным и системам;
- предотвращение незаконных действий от имени другого пользователя;
- предотвращение незаконного распространения конфиденциальной или личной информации.

Кроме того, зачастую для обеспечения безопасности дополнительно необходимо установление авторства того или иного электронного документа.

подавляющее большинство методов обеспечения безопасности основаны, на знании (пароль или PIN-код), владении внешним объектом (например, смарт-картой) или использовании биометрических параметров для осуществления аутентификации или применения электронно-цифровой подписи для уста-

новления авторства.

Наиболее перспективными методами в данной области являются биометрические методы, поскольку предоставляют ряд преимуществ: источник данных неотделим от носителя, биометрические данные гораздо сложнее украсть или подделать. Помимо этого, отличительной особенностью биометрических методов является возможность реализации динамической идентификации пользователя, позволяя идентифицировать подмену оператора. Остальные методы аутентификации (знание или атрибут) предполагают однократную идентификацию только на момент входа пользователя в систему. Тем не менее, не все биометрические методы могут осуществлять непрерывную идентификацию. Такие методы, как сканирование отпечатка пальца, радужной оболочки или распознавание голоса трудно применимы для данных целей. Для подобных целей могут использоваться стандартные устройства ввода персонального компьютера: клави-

атура и мышь. Данные методы идентификации имеют несколько дополнительных достоинств: отсутствие лишнего оборудования и возможность реализации идентификации и аутентификации скрыто от пользователя.

Целью работы является исследование и выделение признаков для реализации непрерывной идентификации пользователей по клавиатурному почерку.

Понятие клавиатурного почерка. Среди методов анализа клавиатурного почерка можно выделить два основных направления: статический и динамический анализ.

Статический анализ предполагает проведение процедуры идентификации по вводу заранее определенной последовательности символов: парольной фразе. Типичной областью применения данного вида анализа является проведение процедуры авторизации пользователя при входе в систему с использованием пароля, что позволяет в сочетании с анализом клавиатурного почерка повысить безопасность системы в случае его компрометации. Для построения образа клавиатурного почерка для каждого пользователя достаточно нескольких образцов ввода парольной фразы, что, как правило, не требует временных затрат.

Динамический анализ, в свою очередь, позволяет идентифицировать пользователя все зависимости от набираемого им текста. Данный подход позволяет не только идентифицировать пользователя во время входа в систему, но и проводить непрерывный анализ клавиатурного почерка в течение всего сеанса работы, с целью распознавания смены активного пользователя. Кроме того, данный метод позволяет проводить процедуру идентификации не по заранее известному паролю, а по вводу небольшого произвольного текста, избавив тем самым пользователя и систему от необходимости хранить пароли. Данный вид анализа требует более длительного периода обучения системы для составления наиболее полного и точного биометрического образа.

Кроме того, следует отметить, что подобные системы могут применяться как в корпоративной сети или сети интернет, где зарегистрированы множество пользователей и сформированы большое количество биометрических образов, так и для индивидуального применения с целью защиты персональной информации. В первом случае задача системы состоит в основном в классификации полученного образа клавиатурного почерка среди зарегистрированных пользователей. Для обучения таких систем при регистрации нового пользователя допустимо использовать имеющиеся биометрические образы в качестве образов «чужих». Таким образом, чем больше база образов, тем больше системе предоставлено данных для обучения. В свою очередь, при наличии всего одного зарегистрированного пользователя не имеется база образов «чужих». В таком случае ставится задача оценки меры близости полученного и сохраненного биометрических образов и определения доверительного интервала, согласного которому принимается аутентификационное или

идентификационное решение.

В рамках проводимого исследования предполагается разработка системы динамического анализа клавиатурного почерка, на основании таких методов, которые позволили бы проводить процедуру идентификации как для одиночного, так и для сетевого пользователя.

Для этого первоначально необходимо рассмотреть понятие клавиатурного почерка и выделить его основные характеристики.

Характеристики клавиатурного почерка. Базовыми метриками ввода текста на клавиатуре являются временные отметки событий двух типов: нажатие клавиши и отпускание клавиши. Обозначим как событие нажатия клавиши i в момент времени t и как событие отпускания клавиши i в момент времени t .

На основании данных событий можно выделить ряд признаков, которые могут являться основой для проведения процедуры анализа клавиатурного почерка.

Первичными признаками являются временные интервалы между парой событий различного типа. К таким интервалам относятся: время удержания клавиши, задержка и время между нажатиями клавиш.

Время удержания клавиши i можно определить как интервал между отпусканием и нажатие одной и той же клавиши:

$$DT_i = P_i(t) - R_i(t)$$

Интервал между нажатиями определяется как интервал между последовательными событиями нажатий клавиш:

$$FT_i = P_{i+1}(t) - P_i(t)$$

В свою очередь определи задержку как интервал между опусканием предыдущей клавиши и нажатием последующей:

$$LT_i = P_{i+1}(t) - R_i(t)$$

В случае пересечения времени удержания клавиш, данный признак будет иметь отрицательно значение. Описанные события и первичные признаки графически можно представить, как показано на рисунке 1.

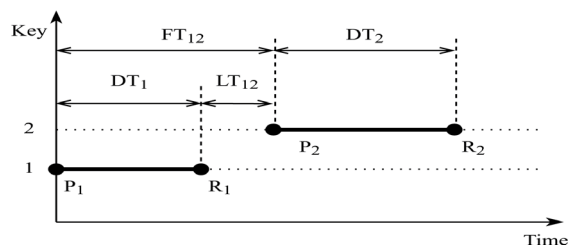


Рисунок 1 – Первичные признаки клавиатурного почерка

На основании сочетания рассмотренных первичных признаков могут быть сформированы составные признаки: диграфы, триграфы и т.д. Конкретный вид составного признака зависит от используемого метода анализа клавиатурного почерка.

Материалы и результаты исследования. На сегодняшний день существует множество исследо-

ваний в области анализа клавиатурного почерка [1-6]. Для статического анализа чаще всего применяются вероятностный метод, основанный на предположении, что признаки не противоречат нормальному закону распределения. Данный подход более подробно рассмотрен в работах [7, 8]. Кроме того, применяются также гистограммный метод [9], методы нечетких множеств, метод *K*-ближайших соседей, различные виды искусственных нейронных сетей, а также методы оценки расстояния между образами [10–13].

Для реализации непрерывного анализа используется мера близости отдельных признаков в сочетании с моделью доверия, рассмотренные в работах [14–16].

Представление не основе контекста состояний.

Целью исследования является разработка системы динамической идентификации пользователя по клавиатурному почерку, реализующей клиент-серверную архитектуру. Система должна выполнять регистрацию пользователей, формирование биометрического образа клавиатурного почерка, а также реализовать динамическую идентификацию пользователя согласно временным характеристикам набора текста на клавиатуре в течение всего сеанса работы [17].

В отличие от распознавания на основе парольной фразы, в которой последовательность событий заранее определена, непрерывный анализ предполагает идентификацию пользователя на основе последовательности событий, поступающих произвольным образом. Исходя из этого, для решения данной задачи необходимо выделить базовую структурную единицу, состоящую из одного или нескольких последовательных событий, на основе которой будет производиться анализ. В качестве базовой последовательности рассмотрим события нажатия двух клавиш.

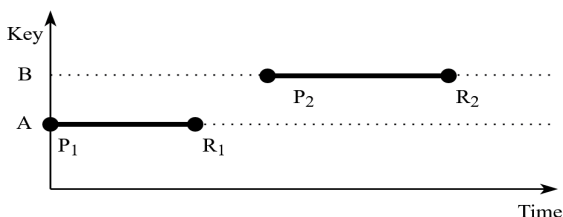


Рисунок 2 – Модель последовательности без пересечения

Таким образом, базовая последовательность будет состоять из четырех событий: P_1, R_1, P_2, R_2 . Порядок следования данных событий может варьироваться. Рассмотрим возможные варианты следования данных событий, которые соответствуют различным способам нажатия пары клавиш.

Самая простая модель последовательности предполагает отсутствие пересечения интервала удержания клавиш: клавиши нажимаются последовательно одна за другой. Графически эту модель можно представить, как показано на рисунке 2. Таким образом, последовательность возникновения событий для представленной модели будет следующая:

$$P_1 \rightarrow R_1 \rightarrow P_2 \rightarrow R_2$$

Данная модель типична для большинства случаев нажатий символьных клавиш.

Другие рассмотренные модели предполагают пересечение интервала удержания клавиши. В одном случае нажатие второй клавиши происходит во время удержания первой, а отпускание – после отпускания первой. Обозначим эту модель, как модель с частичным перекрытием. На рисунке 3 показано графическое представление данного процесса. Последовательность возникновения событий будет следующей: $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow R_1 \rightarrow R_2$. Такая последовательность часто встречается при использовании служебных клавиш, таких как сочетание *Alt + Shift*.

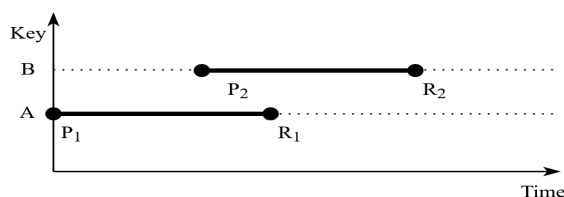


Рисунок 3 – Модель последовательности с частичным перекрытием

Еще одним вариантом пересечения интервалов является полное перекрытие интервалом удержания первой клавиши интервала удержания второй. Графически этот процесс можно представить, как показано на рисунке 4.

Последовательность событий для данной модели будет иметь следующий вид: $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow R_2 \rightarrow R_1$.

Типичный пример – набор дополнительного символа клавиши с использованием клавиши *Shift*.

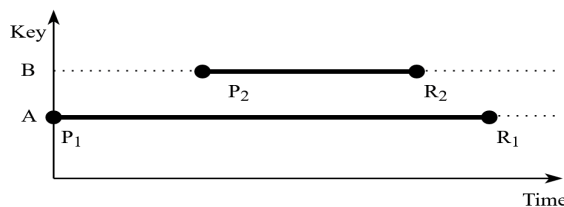


Рисунок 4 – Модель последовательности с полным пересечением

Таким образом, для формирования наиболее полного образа клавиатурного почерка предлагается выделять данные модели и учитывать их временные характеристики. Для реализации данной задачи предложим следующую модель представления биометрического образа клавиатурного почерка.

Формат представления состояния клавиатуры.

Для упрощения модели клавиатуры представим её как фиксированный набор клавиш, каждая из которых в каждый момент времени может находиться в одном из двух состояний: нажата или отпущена. В зависимости от конкретной клавиатуры, количество клавиш может варьироваться. Для построения модели ограничим набор клавиш лишь теми, которые, как правило, участвуют в наборе текста. К таким клавишам относятся: символьные и цифровые клавиши (47 клавиш основной клавиатуры), а также служебные кла-

виши: *Space, Enter, Right Ctrl, Left Ctrl, Right Shift, Left Shift, Right Alt, Left Alt, Caps Lock, Tab, Back Space*. Таким образом, модель клавиатуры будет содержать 58 клавиш, на основании которых будет проводиться оценка временных характеристик.

Представим состояние клавиатуры в виде вектора, каждый элемент которого содержит состояние отдельной клавиши. Множество состояний, исходя из предложенной модели, состоит из двух элементов:

$$State = \{Pressed, Released\}$$

Следовательно, вектор состояния клавиатуры *Keyboard* будет выглядеть следующим образом:

$$Keyboard = [State_1, State_2, \dots, State_i, \dots, State_{58}]$$

где *i* – номер клавиши.

Поскольку в предложенной модели имеется 58 элементов, каждый из которых может находиться в одном из двух состояний, общее количество возможных состояний модели составляет 2^{58} , что равно более квадрильона состояний. Очевидно, что обработка такого количества состояний практически невозможно и подавляющее большинство состояний никогда не возникнет. Поэтому для упрощения модели и сокращения числа возможных состояний введем ограничение на количество клавиш, которые одновременно находятся в нажатом состоянии, до двух. Данное ограничение позволяет практически полностью описать процесс ввода текста на клавиатуре. Исключение составляет использование управляющих комбинаций, которые предполагают одновременное нажатие трех или более клавиш. Данные сочетания можно исключить из модели или рассматривать отдельно в качестве дополнительных признаков. Таким образом, с учетом описанного ограничения, количество возможных состояний можно вычислить как одно начальное состояние, когда все клавиши отпущены, количество возможных состояний, когда нажата одна клавиша и количество состояний с двумя одновременно нажатыми клавишами: $1 + C_{58}^1 + C_{58}^2 = 1712$, что является более приемлемым количеством для построения модели клавиатурного почерка.

Таким образом, данный подход позволяет представить процесс набора текста на клавиатуре не как последовательность событий нажатия или отпущения произвольной клавиши, а как последовательную смену состояний клавиатуры, представленных в виде векторов фиксированного размера, каждому из которых сопоставлена метка времени. Временные интервалы между двумя последовательными состояниями являются признаками, на основании которых может быть построен биометрический образ клавиатурного почерка [18].

Однако, в данной работе предлагается иной подход, который позволял бы учитывать описанные модели последовательностей нажатий пар клавиш. В качестве примера рассмотрим модель клавиатуры, состоящую всего из двух клавиш: *A* и *B*. Исходя из этого, представим матрицу состояний для данной модели, которая показана в таблице 1. Столбцы *A* и

В обозначают состояние клавиши: 0 – отпущена, 1 – нажата. Совокупность состояний отдельных клавиш обозначена как состояние S_i .

Таблица 1 – Матрица состояний для модели клавиатуры, состоящей из двух клавиш

A	B	Состояние
0	0	S0
0	1	S1
1	0	S2
1	1	S3

В таком случае, последовательность состояний для двух последовательных нажатий клавиш без пересечений будет следующей:

$$S_0 \xrightarrow{\Delta t_1} S_2 \xrightarrow{\Delta t_2} S_0 \xrightarrow{\Delta t_3} S_1 \xrightarrow{\Delta t_4} S_0.$$

Графически данный процесс можно представить, как показано на рисунке 5.

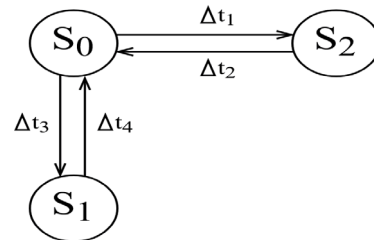


Рисунок 5 – Последовательность состояний для модели без пересечений

Для второй модели с неполным перекрытием, последовательность будет иметь следующий вид:

$$S_0 \xrightarrow{\Delta t_1} S_2 \xrightarrow{\Delta t_2} S_3 \xrightarrow{\Delta t_3} S_1 \xrightarrow{\Delta t_4} S_0.$$

Графически данный процесс представлен на рисунке 6.

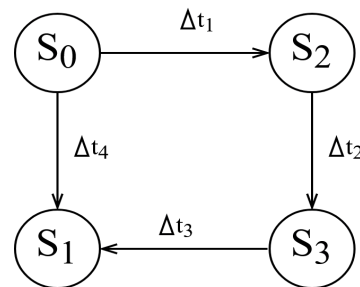


Рисунок 6 – последовательность состояний для модели с частичным перекрытием

Последовательность состояний для модели с полным перекрытием будет выглядеть как:

$$S_0 \xrightarrow{\Delta t_1} S_2 \xrightarrow{\Delta t_2} S_3 \xrightarrow{\Delta t_3} S_2 \xrightarrow{\Delta t_4} S_0,$$

что показано на рисунке 7.

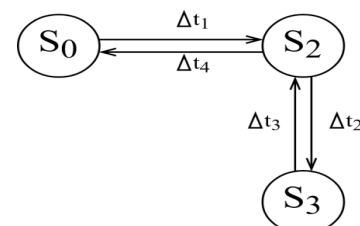


Рисунок 7 – Последовательность состояний для модели с полным перекрытием

Понятие контекста состояний. При последовательной смене состояний, которая соответствует процессу набора текста на клавиатуре, конечное состояние каждой модели S_0 в выделенном шаблоне является начальным состоянием для следующего блока состояний. Поэтому предлагается определить контекст цепочки состояний, который содержит 4 последовательных состояния, между которыми вычисляется три временных интервала. Таким образом, составной признак клавиатурного почерка будет иметь следующий вид:

$$F_{ijkl} = \{ \{S_i, S_j, S_k, S_l\}; \{ \Delta t_{ji}, \Delta t_{kj}, \Delta t_{lk} \} \},$$

где i, j, k, l – коды состояний клавиатуры.

Данный подход позволит не просто выделить первичные признаки клавиатурного почерка, но и разделять их в зависимости от используемой модели последовательности нажатий, которые были рассмотрены ранее. Предполагается, что данный метод позволит строить наиболее полную и точную модель клавиатурного почерка пользователей.

Программный компонент сбора и предварительного анализа параметров клавиатурного почерка. Для проведения практических испытаний был разработан программный компонент. Данное приложение запускается перед началом работы пользователя, осуществляет в фоновом режиме перехват и сбор событий клавиатуры, не влияя на привычные процессы работы пользователя в системе [19].

Согласно предложенной модели представления клавиатурного почерка, данное приложение путем перехвата событий нажатия и отпускания клавиш, формирует вектор состояния клавиатуры и фиксирует время наступления события. В процессе работы хранится контекст четырех последних состояний клавиатуры, а так же вычисляются временные интервалы между ними. На основании данного контекста формируется массив признаков. По завершению работы приложения или накоплению определенного количества признаков все полученные данные сохраняются в файл, доступный для дальнейшего анализа.

В связи с тем, что небезопасно хранить и передавать последовательность нажатых клавиш, поскольку они могут содержать конфиденциальную информацию, предлагается совместить процедуру сбора параметров нажатий клавиш и предварительную обработку событий. Компонент клиента должен хранить и передавать только обобщенную информацию, на основании которой можно сформировать биометрический образ клавиатурного почерка или идентифицировать его. С другой стороны, на основании данного представления должна отсутствовать возможность восстановить исходную последовательность вводимых символов. С данной целью предлагается производить перестановку элементов множества полученных характеристик, например путем использованием сортировки.

Поскольку параметры клавиатурного почерка могут существенно различаться в зависимости от ис-

пользуемой раскладки клавиатуры, биометрический образ будет формироваться отдельно для каждой из них. Исходя из этого, текущая раскладка будет являться дополнительным атрибутом характеристик нажатий клавиш.

Исходя из этого, требования к компоненту сбора и предварительного анализа клавиатурного почерка будут следующими:

- Перехватывать события клавиатуры: нажатия и отпускания клавиш, регистрируя время события и раскладку клавиатуры;
- Осуществлять перехват событий в фоновом режиме, не влияя на работу пользователя в системе;
- Реализовать быструю обработку событий относительно стандартной процедуры обработки событий клавиатуры, исходя из предыдущего требования;
- Выполнять предварительную обработку событий рассмотренным ранее способом.

Для реализации фонового сбора событий клавиатуры был использован механизм системных перехватчиков операционной системы *Windows (Windows hooks)*. Данный механизм заключается в вызове специальной предопределенной фильтрующей функции при наступлении определенного события до его обработки целевой оконной процедурой. При срабатывании фильтрующая функция получает информацию о событии клавиатуры: виртуальный код клавиши, скан-код клавиатуры, и признаки события, такие как была ли клавиш нажата или отпущена. Кроме того, данная процедура получает временную отметку события и текущую раскладку клавиатуры.

Для того чтобы фильтрующая функция не вносила значительной задержки в общую процедуру обработки событий клавиатуры, данная функция только формирует объект события и помещает в его в общую очередь с использованием разделяемой памяти [20].

Предварительная обработка реализована в отдельном процессе, который извлекает элементы из очереди по мере их поступления и формирует вектор состояния клавиатуры. Контекст состояний представляет собой кольцевой буфер из четырех векторов состояний. По мере формирования нового состояний, вектор, который соответствует более раннему состоянию, извлекается из буфера, и новый вектор добавляется в конец. Для хранения временных интервалов, соответствующих хранимому контексту реализован аналогичный кольцевой буфер из трех элементов. В случае нажатия клавиши, которой нет в предложенной модели, контекст состояния сбрасывается в исходное состояние и его формирование происходит с начального состояния. Данный подход позволяет исключить влияние таких событий на временные интервалы других.

Разработанное приложение не обладает графическим интерфейсом и потребляет незначительный объем вычислительных ресурсов. Таким образом, компонент-клиента не оказывает влияния на процесс работы пользователя.

Заклучение. Таким образом, предложен способ описания процесса набора текста на клавиатуре в виде последовательной смены состояний. На основе данного представления предложено выделение определенных последовательностей, названных контекстом состояния, в качестве признаков биометрического образа.

Был реализован компонент-клиента системы анализа клавиатурного почерка, который реализует перехват событий клавиатуры и их предварительную обработку, формируя последовательность контекстов состояний рассмотренным ранее способом. Функционирование приложения не влияет на процесс работы пользователя, и не сохраняет последовательность нажатий клавиш, которые могут являться вводимыми паролями или конфиденциальной информацией.

Также, одним из направлений дальнейшего развития является реализация на основании полученных данных алгоритмов анализа клавиатурного почерка, основанных на методах математической статистики, алгоритмах машинного обучения, выполнение их сравнительной оценки. Так же планируется поддержка адаптивного усиления полученных алгоритмов, используя преимущества отдельных методов, для повышения точности распознавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сидоркина Ирина Геннадьевна, Савинов Александр Николаевич Три алгоритма управления доступом к КСИИ на основе распознавания клавиатурного почерка оператора // Вестник ЧГУ. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tri-algoritma-upravleniya-dostupom-k-ksii-na-osnove-raspoznavaniya-klaviaturnogo-pocherka-operatora> (дата обращения: 03.09.2020).
2. Шарипов Р.Р., Катасёв А.С., Кирпичников А.П. Методы анализа клавиатурного почерка пользователей с использованием эталонных гауссовских сигналов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-klaviaturnogo-pocherka-polzovateley-s-ispolzovaniem-etalonnyh-gaussovskih-signalov> (дата обращения: 03.09.2020).
3. Аверин Андрей Игоревич, Сидоров Дмитрий Петрович Аутентификация пользователей по клавиатурному почерку // Огарёв-Online. 2015. №20 (61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/autentifikatsiya-polzovateley-po-klaviaturnomu-pocherku> (дата обращения: 03.09.2020).
4. Shen Teh P., Beng Jin Teoh A, Yue S. "A Survey of Keystroke Dynamics Biometrics," The Scientific World Journal, –Hindawi Publishing Corporation, 24 с, 2013.
5. Vuyuru, Sampath K. et al. "Computer User Authentication using Hidden Markov Model through Keystroke Dynamics." (2006).
6. Syed Idrus, Syed Zulkarnain & Cherrier, Estelle & Rosenberger, Christophe & Bours, Patrick. (2014). Soft Biometrics for Keystroke Dynamics.
7. Д. В. Пашенко, Е. А. Бальзанникова, И. Г. Сергина, "Метод идентификации пользователей по биометрическому образу клавиатурного почерка с использованием двусвязного представления," Вопросы радиоэлектроники, № 12, С 83–89, 2018, DOI 10.21778/2218-5453-2018-12-83-89.
8. Ю.А. Брюхомицкий "Статистические методы распознавания клавиатурного почерка," Известия Южного федерального университета. Технические науки, Тематический выпуск, С 139 – 147, 2010.
9. Ю.А. Брюхомицкий "Гистограммный метод распознавания клавиатурного почерка," Известия Южного федерального университета. Технические науки, т.112, №11, 8 с, 2010.
10. И.А. Ходашинский, М.В.Савчук, И.В.Горбунов, Р.В.Мещеряков "Технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов" Управление, вычислительная техника и информатика. Доклады ТУСУРа, № 2 (24), часть 3., С 236 – 248, 2011.
11. Д.С Крутохостов, В.Е. Хиценко, "Парольная и непрерывная аутентификация по клавиатурному почерку средствами математической статистики," Вопросы кибербезопасности, №5(24), 2017, С 91 – 99, DOI: 10.21681/2311-3456-2017-5-91-99.
12. A Bhatia, Hanmandlu, M. "Keystroke Dynamics Based Authentication Using Information Sets," Journal of Modern Physics, Vol.8 No.9, August 2017, DOI: 10.4236/jmp.2017.89094.
13. P. Bours, S. Mondal "Continuous Authentication with Keystroke Dynamics," 2015, DOI:10.13140/2.1.2642.5125.
14. P. Bours, H. Barghouthi "Continuous authentication using keystroke dynamics," Proceedings of the Norsk Informasjonssikk erhetskonferanse (NISK'09). 1-11, 2009.
15. P. Pinto, B. Patrão, H. Santos "Free Typed Text Using Keystroke Dynamics for Continuous Authentication", Communications and Multimedia Security : 15th IFIP TC 6/TC 11 International Conference, CMS 2014, Aveiro, Portugal, September 25-26, 2014 pp.33-45, DOI:10.1007/978-3-662-44885-4_3.
16. Martyshekin, A.I. & Pashchenko, D.V. & Trokoz, D.A.. (2019). Queuing Theory to Describe Adaptive Mathematical Models of Computational Systems with Resource Virtualization and Model Verification by Similarly Configured Virtual Server. 1-6. 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867620.
17. Alexey, I. Martyshekin and V. Pashchenko Dmitry. "Development and Research of Means for the Collection and Reporting of Open-Source Information for Use in Decision-Making Systems." Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 16 (2019): 3103-3114.
18. Dubravin, Aleksey & Zinkin, Sergey & Paschenko, Dmitry. (2015). Formal and conceptual definitions of the hybrid model of distributed computings in networks. 1-6. 10.1109/SIBCON.2015.7147047.
19. Pashchenko, Dmitry & Trokoz, Dmitry & Martyshekin, Alexey & Sinev, Mihail & Svistunov, Boris. (2020). Search for a substring of characters using the theory of non-deterministic finite automata and vector-character architecture. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 9. 10.11591/eei.v9i3.1720.
20. Pashchenko, Dmitry et al. "Using Algebra of Hyper-Dimensional Vectors for Heuristic Representation of Data While Training Wide Neural Networks." 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP) (2019): 168-171.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90127*

Статья поступила в редакцию 27.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 658(075.8)

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0013

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ НОВЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2020

Божук Николай Михайлович, кандидат педагогических наук, доцент
заведующий кафедрой радиосвязи на морском флоте

*Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова
(198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: bozhuknm@gumrf.ru)*

Каверзнева Татьяна Тимофеевна, кандидат технических наук, доцент,
доцент Высшей школы техносферной безопасности

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая улица, 29, e-mail: kaverztt@mail.ru)*

Скрипник Игорь Леонидович, кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры Пожарной безопасности технологических процессов и производств

Ксенофонтов Юрий Геннадьевич, кандидат технических наук,
доцент кафедры Пожарной безопасности технологических процессов и производств
*Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149,
e-mails: ig.skrpnick2011@yandex.ru, ksenofontov.ura@mail.ru)*

Щербакова Ирина Олеговна, кандидат педагогических наук, доцент
заведующая кафедрой английского языка навигации и связи

*Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова
(198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: irinashcherbakova@yandex.ru)*

Аннотация. Сегодня большинство организаций-разработчиков имеют заинтересованность в получении госзаказа на научно-техническую продукцию за счет низких налоговых отчислений, различного рода поощрительных надбавок к договорным ценам, в то время, как заказывающие организации наоборот стремятся получить эффективные образцы техники в максимально короткие сроки при минимальной стоимости. В этом случае наиболее рациональным вариантом нахождения компромисса может стать проведение конкурса, на котором будут представлены новые образцы техники, требующие качественной оценки по определенной совокупности показателей. Для оценки эффективности использования изделия может быть использован такой показатель, как технический уровень. Однако, действующая методика оценки технического уровня имеет ряд серьезных недостатков и практически не пригодна к сложным изделиям. Следовательно, необходимо совершенно новая перспективная концепция, исключающая несовершенство и практическую необъективность ныне действующей. В статье рассматриваются вопросы оптимизации выбора лучшего нового образца техники, исходя из оценки его функционирования в составе сложной системы. В качестве такой оценочной характеристики предложено рассматривать комплексный показатель технического уровня изделия, представленный шестью базовыми составляющими, который может быть использован на всех стадиях разработки образца. Подготовлены модели и способы расчета обобщенного показателя качества, новизны технических решений, функциональной и конструктивной организованности, приспособленности к прогрессивной технологии, надежности образца, его графическое представление на основе классических методов теории вероятности, экспертных и эвристических оценок, идеального центра, теории графов с учетом аппарата функционально-стоимостного анализа.

Ключевые слова: образцы техники, технический уровень, научно-техническая продукция, критерий, оценка, прогрессивная технология производства, тактико-техническое задание, функциональная организованность, функционально-стоимостный анализ, новизна технических решений.

APPROACHES TO ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF NEW ENGINEERING DESIGNS

© 2020

Bozhuk Nicolay Mihaylovich, candidate of pedagogical sciences, associate professor,
Head of the Department of the Radio communication in maritime fleet
*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
(198035, Russia, St. Petersburg, Dvinskaya street, 5/7, e-mail: bozhuknm@gumrf.ru)*

Kaverzneva Tatyana Timofeevna, candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the Graduate school of Technosphere

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic street, 29, e-mail: e-mail: kaverztt@mail.ru)*

Skrpnik Igor Leonidovich, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of

Fire safety of technological processes and production

Ksenofontov Yuriy Gennadievich, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Fire safety of technological processes and production
Saint Petersburg University of the state fire service of the EMERCOM of Russia
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospekt, 149,
e-mails: ig.skripnick2011@yandex.ru, ksenofontov.ura@mail.ru)

Shcherbakova Irina Olegovna, candidate of pedagogical sciences, associate professor,
Head of the Department of English of Navigation and Communication
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
(198035, Russia, St. Petersburg, Dvinskaya street, 5/7, e-mail: irinashcherbakova@yandex.ru)

Abstract. Today, most of involved in development organizations have an interest in receiving a state order for scientific and technical products due to low tax deductions, various types of incentive premiums to contractual prices, while ordering organizations, on the contrary, seek to obtain effective samples of equipment as soon as possible at a minimum cost. In this case, the most rational option for finding a compromise may be to hold a competition at which new models of equipment will be presented that require a qualitative assessment of a certain set of indicators. An indicator such as a technical level can be used to assess the use efficiency of the product. However, the current technique of assessing the technical level has a number of serious shortcomings and is practically unsuitable for complex products. Therefore, a completely new perspective concept is needed, eliminating the imperfection and practical bias of the current one. The article discusses the issues of optimizing the selection of the best new equipment, based on the assessment of its functioning as part of a complex system. As such an evaluation characteristic, it is proposed to consider a complex indicator of the technical level of the product, represented by six basic components, which can be used at all stages of sample development. Models and methods of calculating a generalized quality index, novelty of technical solutions, functional and constructive organization, adaptability to progressive technology, sample reliability, its graphical representation on the basis of classical methods of probability theory, expert and heuristic estimates, ideal center, graph theory taking into account the apparatus of functional-cost analysis have been prepared.

Keywords: samples of equipment, technical level, scientific and technical products, criteria, evaluation, progressive production technology, tactical and technical task, functional organization, functional and cost analysis, novelty of technical solutions.

Введение. В современных условиях одной из важных задач является своевременная разработка новых эффективных образцов техники [1]. Разрабатывающие организации заинтересованы в получении госзаказа из-за снижения размеров налоговых отчислений, установления поощрительных надбавок к договорным ценам на научно-техническую продукцию, сохранения квалифицированных работников и т.д. С другой стороны, заказывающие организации хотят получить более эффективный технический объект в короткие сроки и с минимальной стоимостью. Разрешением этого противоречия может служить конкурс, под которым понимается отбор лучшего из предлагаемых технических объектов, разработанных параллельно несколькими разработчиками [2].

При разработке техники нового поколения необходимо выполнить следующие этапы: подготовить функциональную структуру; определить принцип действия; конкретизировать технические решения (ТР); найти оптимальные параметры [3]. Вопрос о целесообразности выбора того или иного ТР определяются, исходя из оценок эффективности его применения в составе системы или объекта [4]. В качестве характеристики для оценки эффективности использования может рассматриваться показатель технического уровня (ТУ) изделия. Выбор данного показателя объясняется следующим: он зависит только от ТР и не зависит от качества его изготовления, то есть показатель ТУ может быть использован на любой из стадий создания продукции [5]. Это особенно важно

на ранних этапах при выборе принципиальной схемы разрабатываемого объекта. При этом, принимая в качестве базы для сравнения лучшие мировые образцы, можно спрогнозировать технико-экономические показатели разрабатываемой продукции, что позволяет исключить ситуацию, когда уже при проектировании создаваемая техника оказывается морально устаревшей. Современная инженерная практика создания новых образцов техники однозначно пытается решить вопрос разработки таких изделий, которые отвечали бы лучшим мировым образцам [6]. Выбор базового образца для моделирования лучшего мирового прогнозируемого облика с достигаемым ТУ выполняется на основе обработки патентных материалов. Такая обработка патентной информации с привлечением электронных технических ресурсов позволяет улучшить информационную составляющую новых разработок, что влияет на появление современной техники. Анализ описаний изобретений служит индикатором развития технических идей. Разрабатываемый технический объект – это сложная техническая система, состоящая из многих узлов, деталей, элементов. Поэтому надо выяснить – какой узел является самым важным, с точки зрения его технического совершенства. Также наиболее важным параметром, определяющим тенденции современного этапа развития изделий, является «универсализация» (стандартизация, унификация), под которой понимается единство технологий, отдельных блоков, позволяющих использовать их без дополнительных доработок в любом объекте, предпо-

лагающим совмещением функций отдельных элементов [7].

Существующая методика оценки *TU* предполагает суммирование «средневзвешенных» значений групп показателей свойств изделия и коэффициентов их весомости. Эта методика ошибочно перенесена на сложные изделия из области оценки товаров народного потребления.

Многочисленные попытки совершенствования методики путем изменения значений показателей и коэффициентов их весомости не привели к объективной оценке. Наоборот, доминирующие показатели «растворились» в обилии второстепенных, что создало видимость «точной» оценки и исказило истинное положение дел.

Таким образом, теоретическое несовершенство и практическая необъективность действующей концепции оценки *TU* изделий делают ее неперспективной.

Цель статьи – раскрыть сущность инновационного подхода к оценке эффективности разрабатываемых новых образцов техники для формирования новой концепции, при разработке которой предлагается использовать следующие основные принципы [8]:

- концепция должна опираться на новое определение термина *TU* в его широком, современном толковании;

- при разработке критерия оценки *TU* следует исходить из физической сущности работы изделий, т.е. рассматривать его как процесс достижения полезного эффекта, присущего данному виду устройств;

- функциональной мерой оценки работы изделий может быть только физическая величина, отражающая энергетические, временные, вероятностные и др. характеристики;

- результат оценки должен выражаться в абсолютных единицах (как это принято в физике), отражать количественную и качественную стороны, иметь свою размерность, сопоставляться с абсолютной шкалой измерения *TU* подобных изделий, конкурентоспособных на мировом уровне;

- абсолютная величина критерия *TU* должна быть основой для определения динамики развития всех видов изделий, исходя из современных потребностей, прогнозирования прогресса и выработки обязательных норм для их разработки;

- критерий *TU* должен гарантировать полную независимость и объективность на всех этапах технической экспертизы изделий, по всем стадиям жизненного цикла, по единым показателям и методике для всех видов устройств определенного функционального назначения.

Материалы и результаты исследования. Оценка *TU* создаваемых изделий предусмотрена существующими системами стандартов и номенклатурой типовых показателей качества разработки и производства.

В соответствии с основными положениями нормативных документов *TU* изделия – это относительная характеристика его качества, получаемая посредством сравнения значений показателей, определяющих тех-

ническое совершенство оцениваемого ее вида с соответствующими базовыми значениями.

При этом техническое совершенство изделия определяют по специальным картам *TU* соответствующими комиссиями или отдельными лицами. Это значит, что данная оценка в определенной мере будет зависеть от субъективных взглядов исполнителя и заказчика. Изменить сложившуюся практику возможно лишь усовершенствовав содержание понятия *TU* образцов. Для этого была проделана следующая работа:

- произведено обоснование состава базовых составляющих комплексного показателя технического уровня (*KПТУ*);

- подготовлены модели и способы их расчета;

- предложен алгоритм расчета *KПТУ* [7];

- выполнен способ графического изображения составляющих *KПТУ* [8].

В качестве таких базовых составляющих, позволяющих оценить *TU* новых разработок, использованы:

- качество разработки образца, выражающееся в численном определении обобщенного показателя качества (*ОПК*) изделия [9];

- новизна технических решений (*НТР*), определяющаяся коэффициентом новых технических решений (*K_{НТР}*) [10];

- функциональная организованность (*ФО*) разработки образца, характеризующаяся коэффициентом функциональной организованности образца (*K_{ФО}*) [11];

- конструктивная организованность (*КО*) образца, выражающееся в численном определении коэффициента конструктивной организованности образца (*K_{орз}*);

- приспособленность образца к прогрессивной технологии производства (*K_{пт}*) [12];

- надежность образца, рассчитываемая через коэффициент готовности (носит вероятностный характер) или наработку образца на отказ [13].

В каждой группе определяются соответствующие показатели на основе известных методов теории вероятности, экспертных и эвристических оценок, идеального центра, одномерного метрического шкалирования, теории графов, аппарата функционально-стоимостного анализа, логико-статистических моделей [14, 15].

Поэтому предлагается новый подход для определения одной из составляющих *KПТУ* – *ОПК*, которая должна определяться, исходя из реализации следующих положений [16, 17]:

- выбора значений показателей качества;

- определения базы сравнения, в качестве которой предлагается использовать совокупность показателей, установленных в виде требования тактико-технического задания (*ТТЗ*) на разработку изделий;

- разбиения показателей, на две группы: существенные, имеющие условно-пропорциональный характер, определяющие основное назначение изделия, и не существенные, носящие условно-альтернативный характер, характеризующие второстепенные функции изделия.

Данное разбиение выполняется по степени их влияния на *TU* и превышения фактически достигнутых значений показателей над заданными в *ТТЗ*, с учетом коэффициента корреляции.

- расчета *ОПК*, представляющего собой взвешенную среднеарифметическую, среднегеометрическую или среднегармоническую свертку показателей выделенных групп.

Проведенные ранее исследования показали необходимость планирования для каждого изделия *ОПК*, который представляет собой показатель, численное значение которого может быть получено сопоставлением характеристик разрабатываемого изделия и лучшего из имеющихся мировых аналогов, принимая коэффициент корреляции *R* «стоимость-показатель» в качестве критерия (рис. 1).

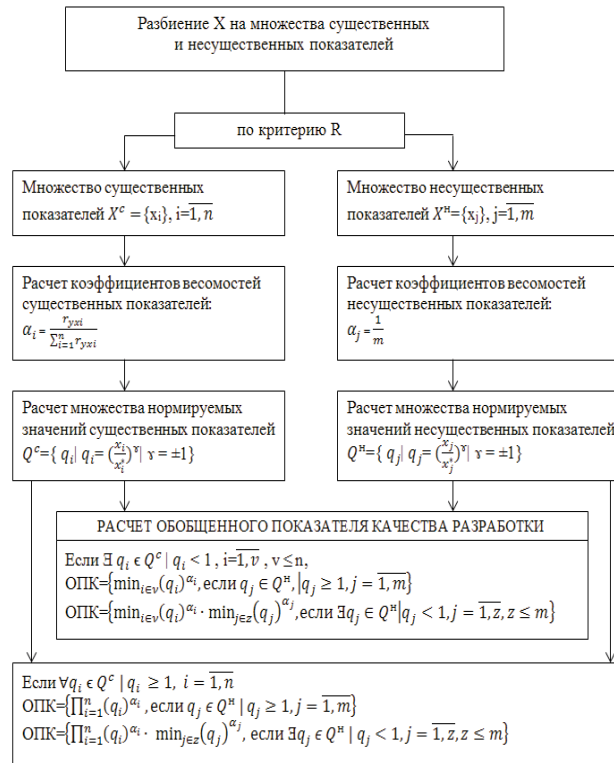


Рисунок 1 – Модель расчета *ОПК*

Для оценки *НТР* применяется подход, взятый с предметной области упорядочивания патентной информации. Согласно [17] и применительно к рассматриваемой задаче подготавливаются таблицы. В них качественным характеристикам *ТР* ставятся в однозначное соответствие численные значения. Если характеристики по значимости одинаковые, то коэффициент их весомости (K_j) рассчитывается как:

$$K_j = \frac{1}{d}, j = \overline{1, d}$$

Если они имеют разную важность, то можно использовать формулу Фишберна, тогда веса их характеристик уже при $d=4$ будут иметь большую разницу. В этом случае для уменьшения резкого снижения коэффициента весомости между характеристиками используется следующий подход. Вводят допущения:

а) значимость первой характеристики (b_1) – наибольшая и равна единице, последней – нулю (1);

$$б) \lim_{j \rightarrow \infty} \frac{b^{j+1}}{b^j} < S \quad (1)$$

где:

S – некоторое число, к которому должен стремиться ряд по сходимости;

в) коэффициенты значимости характеристик, пред-

ставляют собой убывающую последовательность (2):

$$b^j > b^{j+1} \dots > b^d \quad (2)$$

где d – количество характеристик;

г) относительное отношение рядом, находящихся характеристик должно иметь наименьшее значение (3):

$$\frac{b^j - b^{j+1}}{b^j} \rightarrow \min \quad (3)$$

Методом комбинаторного подбора коэффициента, вида функции на основе предположений (1-3) получаем, что она имеет вид (4):

$$b^j = \frac{1}{2 \cdot 1^{j-1}}, j = \overline{1, d} \quad (4)$$

Тогда:

$$K_{НТР} = \sum_{j=1}^d \sum_{i=1}^s B_{ji} \cdot \text{sign} B_{ji} \quad (5)$$

где:

$$\text{sign} B_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если по } j\text{-той характеристике выбирается } i\text{-я позиция,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для разработки модели *ФО* используется аппарат функционально-стоимостного анализа и функционально-физического описания образцов (рис. 2). Поэтому *КФО* рассчитывается как (6):

$$K_{\Phi 0} = \sqrt{K_{\text{акт}}^{\text{та}} + K_{\text{акт}}^{\text{вт}} + K_{\text{сф}} + K_{\text{рф}}}, \quad (6)$$

где:

коэффициенты $K_{\text{акт}}^{\text{пл(вт)}}$ – актуализации главных (второстепенных) функций; $K_{\text{сф}}$ – сосредоточения главных функций; $K_{\text{рф}}$ – расширения, определяемый в зависимости от количества второстепенных и главных функций.

Разработка нового изделия предполагает информационные, энергетические связи между элементами, определенные TP с физическими принципами действия, поэтому вводится $K_{\text{орз}}$, рассчитываемый по выражению (7):

$$K_{\text{орз}} = \frac{\ln(E)^{\cdot} D}{E^2}, \quad (7)$$

где:

число E – элементов в образце; D – связей.

При разработке опытного образца надо учитывать:

- современные технологии с учетом научно-технического прогресса [18];
- новые режимы функционирования при необходимых условиях эксплуатации [19];
- «умные» материалы», сохраняющие свои показатели в условиях влияния на них агрессивных факторов различных чрезвычайных ситуаций [20];
- мировые тенденции для подготовки квалифицированных специалистов [21-25], обеспечивающих «прорыв» технических идей в этой области.

Это учитывается введением в $K_{\text{ПТУ}}$ определяемого с помощью экспертных оценок.

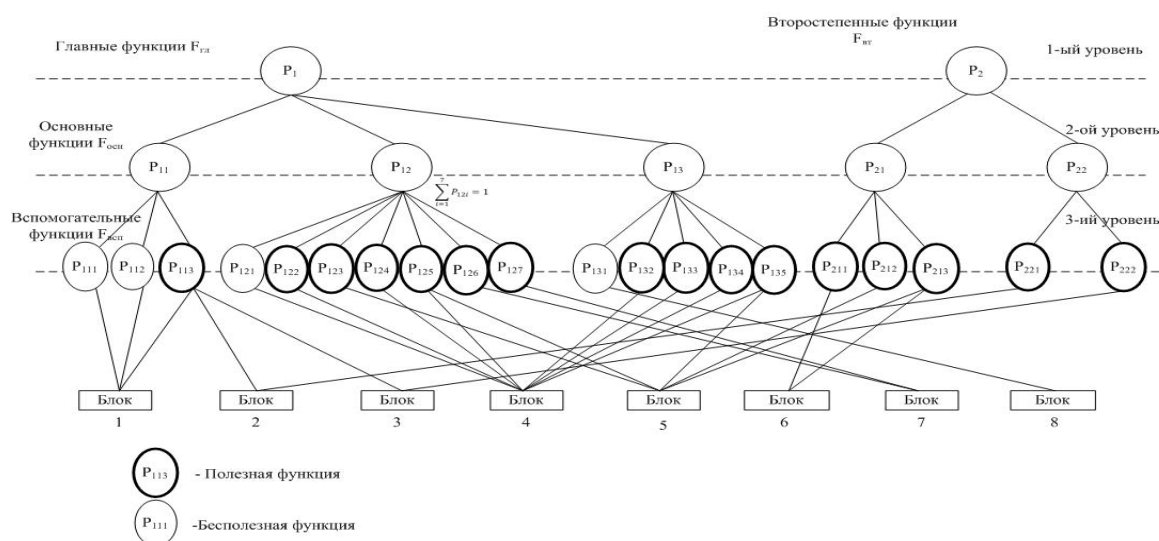


Рисунок 2 – Примерная модель ФО изделия

Если организация, формирующая $TTЗ$ и выставляющая его на тендер (конкурс), имеет данные об особенностях технологического процесса, используемых материалов, уровне подготовки инженерно-технических работников, то это дает возможность, используя современные методики, быстрее, качественнее выявить несоответствие разработанных изделий, требованиям действующих нормативных документов.

Заключение. Данная совокупность базовых составляющих $K_{\text{ПТУ}}$ позволит заказчику всесторонне оценить предлагаемую разработку, с учетом динамики жизненного цикла изделия, выбрать лучший образец из совокупности разработок, представляемых на конкурс. Последовательно оцениваемые заказчиком $K_{\text{ПТУ}}$ объектов также даст ему возможность поэтапно снимать часть из них с конкурса. Это отличает предлагаемый подход оценки TU изделий, от действующих в практике деятельности заказывающих организаций. Такой подход позволил заказчику правильно сформулировать $TTЗ$ на разработку, с учетом перспектив развития изделий, а разработчику качественно, без излишних затрат, реализовать их в проектно-конструкторских решениях.

Таким образом, заказчик в сжатые сроки с минимальными затратами решает проблему создания эф-

фективных технических объектов, проводит оптимизацию процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Современные подходы повышения эффективности разработок образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 224-226.
2. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Совершенствование организационного механизма управления разработкой образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 222-224.
3. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Особенности модификации процедур морфологического анализа технических систем // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 1 (45). С. 112-121.
4. Скрипник И.Л. Представление новых разрабатываемых изделий через теорию сложных технических систем // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей международной научной конференции.

28 февраля 2019 г. – Казань: ООО “Конверт”, – 2019. С. 23-25

5. Скрипник И. Л., Воронин С.В. Расчетная процедура оценки технического уровня разработок изделий пожарной техники // Научно-аналитический журнал. Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 2 (22). С. 36-46.

6. Скрипник И.Л., Воронин С.В. К вопросу о современном состоянии теории проектирования новых образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. - Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 218-220.

7. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к созданию современных приборов приемно-контрольных пожарных // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 105-110.

8. Скрипник И. Л., Воронин С.В. Обоснование размерности комплексного показателя технического уровня и его графическое представление // Научно-аналитический журнал. Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 3 (23). С. 23-27.

9. Скрипник И. Л., Воронин С.В. Модель качества разработки изделий пожарной техники // Научно-аналитический журнал. Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 4 (24). С. 35-42.

10. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Модель новизны технических решений разработок образцов пожарной техники // Сборник статей по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции “Сервис безопасности в России: Опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение комплексной жизнедеятельности населения” 27 сентября 2017 года. – Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. С. 291-296.

11. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Модель функциональной организованности образцов пожарной техники // Научно-аналитический журнал. Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2017. № 3. С. 16-20.

12. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Способ расчета показателя приспособленности образца к прогрессивной технологии производства // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 213-215.

13. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Способ расчета показателя надежности образца пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 215-218.

14. Рыбин О.А., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к методологии создания современных образцов пожарной техники // Научно-аналитический журнал. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2017. № 4. С. 133-137.

15. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Расчет вероятности возникновения пожара от электрического изделия // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 1 (41). С. 50-59.

16. I L Skrypnik, Yu G Ksenofontov, T T Kaverzneva, N V Rumyantseva, V V Kiss. Assessment of technical level of new, promising models of equipment at the stage of their development in modern engineering practice. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 042031. doi:10.1088/1757-899X/862/4/042031.

17. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Применение комплексного показателя технического уровня и его основных составляющих для выбора лучшего изделия // Научно-аналитический журнал. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 60-68.

18. Иванов А.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Уменьшение процесса коррозии металла при воздействии переменного частотно-модулированного сигнала // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 1 (49). С. 14-24.

19. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Технические решения задачи согласования критериев безопасности в электрических сетях // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 2 (42). С. 110-117.

20. Иванов А.В., Мифтахутдинова А.А., Скрипник И.Л., Шугаилов Р.А. Реализация технологии управления свойствами наноструктур в жидких углеводородах для снижения пожарного риска на объектах нефтегазового комплекса // Научный электронный журнал. Вестник Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России. 2019. № 2 (23). С. 49-58.

21. Leonova N., Avdeeva M., Kaverzneva T. Developing Individuals' Professional Qualities in the course of Technosphere Safety Specialists Training // 2019. E3S Web of Conferences. EEE-2019. Volume 140, 08008 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914008008>.

22. Leonova, N.A., Kaverzneva, T.T., Borisova, M.A., Skripnik, I.L. Integration of Physics Courses and Operating Security Courses in the Education in the Technosphere Safety Area / Proceedings of 2018 17th Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region, PTES 2018.

23. Леонова Н.А., Каверзнева Т.Т. Развитие профессионально важных качеств обучающихся в инженерном образовательном процессе по направлению "Техносферная безопасность" / Безопасность жизнедеятельности. 2018. № 11 (215). С. 56-59.

24. Леонова Н.А., Каверзнева Т.Т., Ульянов А.И. Междисциплинарная связь курсов физики, безопасности жизнедеятельности и техносферной безопасности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. 2014. Вып. 3(203). С. 160-165.

25. Каверзнева Т.Т., Леонова Н.А. Обеспечение преемственности лабораторных практикумов в инженерной подготовке выпускника высшей школы по направлению "Техносферная безопасность" // Безопасность жизнедеятельности. 2015. №12. С. 52-55.

Статья поступила в редакцию 20.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 664.66

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0014

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУКИ ЗАРОДЫШЕЙ ПШЕНИЦЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА ИЗ СМЕСИ РЖАНОЙ И ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

©2020

Лесникова Наталия Александровна, инженер кафедры технологии питания

Уральский государственный экономический университет

(620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, e-mail: lista507@rambler.ru)

Котова Татьяна Вячеславовна, доктор технических наук, доцент,

ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Технологии инновационного развития»

Уральский государственный экономический университет

профессор кафедры фармацевтической и общей химии

Кемеровский государственный медицинский университет

(650056, Россия, Кемерово, ул. Ворошилова, 22а, e-mail: t_kotova@inbox.ru)

Аннотация. Статья посвящена использованию муки из зародышей пшеницы для обогащения и расширения ассортимента хлеба, выработанного из смеси ржаной и пшеничной муки. Зародыши пшеницы – продукт переработки зерна, обладают повышенной биологической ценностью и высокими биопротекторными свойствами. Мука из зародышей пшеницы в отличие от муки хлебопекарной богата белком, пищевыми волокнами, витаминами, аминокислотами, зольными макро- и микроэлементами. На первом этапе исследований установлено, что использование муки из пшеничных зародышей в нативном виде приводит к расслаблению клейковинного комплекса пшеничной муки, предположительно, за счёт повышенного содержания в зародышах пшеницы глутатиона. Как следствие наблюдается ухудшение качества хлеба. Для улучшения качественных характеристик хлебобулочных изделий рассмотрена термическая обработка муки зародышей пшеницы при различных температурных режимах и времени воздействия. В результате исследований при производстве хлеба доказана возможность применения муки зародышей пшеницы после термообработки при температуре 100 °С в течение 8 ч до влажности 4 %. Определена оптимальная дозировка муки из пшеничных зародышей в рецептуре хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки. Готовая хлебобулочная продукция высокого качества и обладает повышенной пищевой ценностью.

Ключевые слова: мука зародышей пшеницы, хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки, термическая обработка, показатели качества, пищевая ценность.

USE OF WHEAT EMERGENCY FLOUR IN PRODUCTION OF BREAD FROM MIXTURE OF RYE AND WHEAT FLOUR

©2020

Lesnikova Natalia Aleksandrovna, engineer of the Department of food technology

Ural state University of Economics

(620144, Russia, Yekaterinburg, 8 March/Narodnaya Volya st., 62/45, e-mail: lista507@rambler.ru)

Kotova Tatyana Vyacheslavovna, doctor of technical Sciences, docent,

leading Researcher, Scientific and Educational Center «Innovative Development Technologies»

Ural state University of Economics

professor, Department of Pharmaceutical and General Chemistry

Kemerovo State Medical University

(650056, Russia, Kemerovo, Voroshilova st., 22a, e-mail: t_kotova@inbox.ru)

Abstract. The article is devoted to the use of wheat germ flour to enrich and expand the bread assortment produced from a mixture of rye and wheat flour. Wheat germ - a product of grain processing, have high biological value and high bioprotective properties. Flour from wheat germ, unlike baking flour, is rich in protein, dietary fiber, vitamins, amino acids, ash macro and micro elements. At the first stage of research, it was found that the use of flour from wheat germ in its native form leads to a relaxation of the gluten complex of wheat flour, presumably due to the increased content of glutathione in wheat germ. As a result, there is a deterioration in the quality of bread. To improve the quality characteristics of bakery products, the heat treatment of wheat germ flour at various temperature conditions and exposure time is considered. As a result of research in the production of bread, the possibility of using wheat germ flour after heat treatment at a temperature of 100 °C for 8 hours to a moisture content of 4% was proved. The optimal dosage of wheat germ flour in the bread recipe from a mixture of rye and wheat flour was determined. Finished bakery products are of high quality and have high nutritional value.

Keywords: wheat germ flour, bread made from a mixture of rye and wheat flour, heat treatment, quality indicators, nutritional value.

Введение. Потребление продуктов питания населением разных регионов России характеризуется повышенным содержанием в этих продуктах жиров животного происхождения, легкоусвояемых углеводов, но недостаточным содержанием пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ. В России хлебобулочные изделия являются массово потребляемыми продуктами питания. Поэтому актуальным считается поиск и внедрение в производство новых хлебобулочных изделий с улучшенным химическим составом и повышенной пищевой ценностью [1, 2].

В настоящее время большой интерес для обогащения пищевых продуктов необходимыми нутриентами вызывает сырье натурального происхождения. Одним из видов такого сырья являются зародыши пшеницы – уникальные по биологическому составу, содержащие витамины, практически все аминокислоты и микроэлементы. На мукомольных заводах их получают как в зерноочистительном, так и размольном отделении. В рецептурах хлебобулочных изделий часто применяются продукты переработки зародышей пшеницы: мука, хлопья, жмых и масло [3-5].

В таблице 1 приведён химический состав муки зародышей пшеницы в сравнении с мукой пшеничной первого сорта и мукой ржаной обдирной.

Таблица 1 – Химический состав муки [6]

Показатели на 100 г муки	Мука		
	зародышей пшеницы	пшеничная первого сорта	ржаная обдирная
Вода, г	5,9	14,0	14,0
Белки, г	33,9	11,1	8,9
Жиры, г	7,7	1,5	1,7
Углеводы усвояемые, г	32,7	67,8	61,8
Моно- и дисахариды, г	17,2	1,2	0,9
Пищевые волокна, г	15,6	4,9	12,4
Зола, г	4,3	0,7	1,2
Витамины:			
Витамин А, мкг	8,0	–	–
Бета-каротин, мг	0,048	–	–
Витамин В ₁ , мг	0,6	0,24	0,35
Витамин В ₂ , мг	0,87	0,09	0,12
Витамин Е, мг	9,6	1,8	1,9
Витамин РР, мг	11,5	4,4	2,8
Витамин В ₃ , мг	4,1	2,3	1,0
Минералы:			
Калий, мг	781,0	176,0	350,0
Кальций, мг	27,0	24,0	34,0
Магний, мг	176,0	44,0	60,0
Натрий, мг	5,0	4,0	2,0
Фосфор, мг	1075,0	116,0	189,0
Железо, мг	4,3	2,1	3,5

Из представленных в таблице 1 результатов, видно, что мука зародышей пшеницы по сравнению с мукой пшеничной первого сорта и ржаной обдирной

содержит в три раза больше белка, богата пищевыми волокнами, жирами, сахарами. Витаминный состав муки зародышей пшеницы отличается наличием витамина А и β-каротина, а содержание витаминов В₁, В₂, Е, РР, В₃ в муке зародышей пшеницы значительно выше, чем в других сравниваемых видах муки. Также мука из пшеничных зародышей в количественном отношении богата и минеральными веществами, например, содержание магния в ней выше в четыре раза, железа – в два раза по сравнению с мукой пшеничной первого сорта, а в три раза и в 1,2 раза соответственно по сравнению с мукой ржаной обдирной [7].

Таким образом, использование муки из пшеничных зародышей в хлебопекарном производстве позволит расширить ассортимент и обогатить готовые изделия ценными макро- и микронутриентами [8].

Цель исследования заключалась в изучении влияния термической обработки муки из пшеничных зародышей на качество ржано-пшеничного хлеба.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования являются образцы хлеба Столичного, приготовленные из смеси ржаной обдирной муки и пшеничной первого сорта без внесения и с внесением 5 %, 10%, 15%, 20% муки из пшеничных зародышей от общей массы муки без термообработки и с термообработкой.

Содержание глутатиона в разных видах муки определяли методом титрования раствором йодата калия в присутствии йодистого калия и крахмала по методике Х. Н. Починок [9].

Анализ качества муки, полуфабрикатов и готовой продукции проводили стандартными и общепринятыми методами.

Результаты исследования. Исследовательская работа осуществлялась на базе Уральского государственного экономического университета.

Тесто готовилось на большой густой закваске с дозировкой ржаной муки 50% от общей массы муки по следующим вариантам:

- контрольный образец (без внесения муки зародышей пшеницы);
- образцы 1, 2, 3, 4 с добавлением 5%, 10%, 15% и 20% муки из пшеничных зародышей от общей массы муки соответственно.

Изучали воздействие муки из пшеничных зародышей на количество и качество клейковины пшеничной муки. Установили, что повышение дозировки муки из пшеничных зародышей до 20% приводит к уменьшению количества сырой клейковины на 0,5% по сравнению с контролем. Качество клейковины, ус. ед. прибора ИДК, в зависимости от дозировки муки пшеничных зародышей составило для:

- контрольного образца – 78;
- образца 1 – 84;
- образца 2 – 88,5;
- образца 3 – 91,5;
- образца 4 – 93.

При увеличении дозировки муки из пшеничных зародышей качество клейковины ухудшается. Она

становится слабой, возможно, из-за повышенного количества глутатиона в пшеничных зародышах. Отрицательное влияние глутатиона на клейковину объясняется наличием в нём свободных сульфгидрильных групп $-SH$, изменяющих физические свойства белков клейковины [10, 11].

Для выявления снижения содержания глутатиона в муке из пшеничных зародышей её подвергали воздействию разных температурных режимов и экспозиции, а также сравнению с образцами без термической обработки.

Содержание глутатиона, мг/100 г, в образцах муки:

- пшеничной первого сорта – 153,5;
- ржаной обдирной – 276,3;
- из пшеничных зародышей без термообработки – 1228,0;
- из пшеничных зародышей после термообработки при 200 °С – 921,0;
- из пшеничных зародышей после термообработки при 150 °С – 820,0;
- из пшеничных зародышей после термообработ-

ки при 100 °С – 918,0.

В сравнении с мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта и ржаной обдирной в муке зародышей пшеницы глутатиона содержится значительно больше. Однако после термообработки как при температуре 200 °С, так и при температурах 150 °С и 100 °С количество глутатиона снижается на 307,0-310,0 мг/100 г соответственно. Образцы муки из пшеничных зародышей, подвергнутые термическому воздействию при 150 °С и 200 °С, в последующих исследованиях не использовались, т.к. имели неспецифичный жжёный привкус и запах [12, 13].

Исследованы физико-химические показатели теста с разными дозировками муки из пшеничных зародышей без термообработки и с термообработкой. Тесто для образцов под номерами 5, 6, 7, 8 замешивали с добавлением 5%, 10%, 15% и 20% муки из пшеничных зародышей после воздействия на неё температуры 100 °С при экспозиции 8 часов. На рисунке 1 показана зависимость кислотности теста в конце брожения от дозировки муки из пшеничных зародышей.

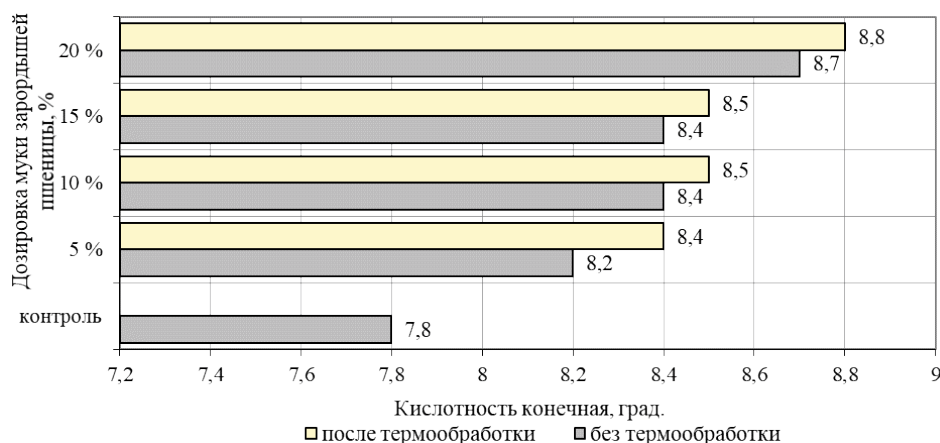


Рисунок 1 – Зависимость кислотности теста в конце брожения от дозировки муки из пшеничных зародышей без термообработки и с термообработкой

Из результатов, представленных на рисунке 1, видно, что с увеличением дозировки муки из пшеничных зародышей повышается кислотность теста в сравнении с контролем. Процесс брожения теста интенсифицируется, так как с мукой зародышей пшеницы вносится большое количество питательных веществ для молочнокислых бактерий [14 – 16]. В результате термообработки муки из пшеничных зародышей конечная кислотность теста значительно не изменяется в сравнении с кислотностью теста, приготовленного с внесением муки из пшеничных зародышей, не подвергавшейся термообработке.

Исследованы органолептические показатели объектов исследования с использованием муки из пшеничных зародышей. Установлено, что органолептические показатели образцов 1 и 2 не отличаются от образца без зародышей. Увеличение дозировки муки из пшеничных зародышей более 10% в рецептуре хлеба ухудшает качество готовых изделий. У образцов 3 и 4 поверхность корки шероховатая, мякиш с недостаточно развитой пористостью, заминающийся. Вероятно, это объясняется наличием большого количества глутатиона, который способствует разжижению теста [17, 18]. На этом этапе исследования можно сделать вывод, что внесение муки из пшеничных зародышей без термического воздействия в количестве 10% в рецептуру ржано-пшеничного хлеба является оптимальным.

При определении органолептических показателей готовой продукции с использованием муки из пшеничных зародышей после термовоздействия при 100 °С выявлено – при повышении дозировки муки из пшеничных зародышей до 15,0% от массы муки (образцы 5, 6, 7) качественные характеристики хлеба заметно улучшаются в сравнении с образцом без зародышей: поверхность корки гладкая, выпуклая; мякиш становится эластичным с более развитой, равномерной, тонкостенной пористостью и с приятным ароматом. Образец 8 с введением 20% муки из пшеничных зародышей отличается пониженными потребительскими свойствами по сравнению с другими опытными образцами.

При определении органолептических показателей готовой продукции с использованием муки из пшеничных зародышей после термовоздействия при 100 °С выявлено – при повышении дозировки муки из пшеничных зародышей до 15,0% от массы муки (образцы 5, 6, 7) качественные характеристики хлеба заметно улучшаются в сравнении с образцом без зародышей: поверхность корки гладкая, выпуклая; мякиш становится эластичным с более развитой, равномерной, тонкостенной пористостью и с приятным ароматом. Образец 8 с введением 20% муки из пшеничных зародышей отличается пониженными потребительскими свойствами по сравнению с другими опытными образцами.

Результаты исследования физико-химических показателей готовых изделий с применением муки из пшеничных зародышей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели хлеба

Показатели качества хлеба	Образцы								
	без зародышей	1	2	3	4	5	6	7	8
Влажность мякиша, %	47,9	48,0	48,0	47,8	47,9	48,0	47,8	48,0	47,9
Кислотность мякиша, град.	8,1	8,2	8,2	8,3	8,6	8,2	8,2	8,3	8,6
Пористость мякиша, %	67,0	67,8	68,7	63,6	59,7	67,9	68,5	70,0	59,8

На рисунке 2 показана зависимость объемного выхода хлеба от дозировки муки из пшеничных зародышей.

Анализируя результаты таблицы 2 и рисунок 2 установлено, что при увеличении дозировки муки из

пшеничных зародышей, не подвергнутой термическому воздействию, пористость мякиша хлеба образца 2 повышается с 67% до 68,7%, объемный выход увеличивается с 330 см³ до 350 см³ в сравнении с образцом без зародышей. Можно предположить, что в тесте благодаря добавлению муки зародышей, создаются более благоприятные условия для питания дрожжей, так как в состав муки входят витамины, минеральные вещества и азотистые соединения [19]. Увеличение дозировки муки зародышей пшеницы более 10% приводит к снижению пористости и объемного выхода хлеба, что, вероятно, свидетельствует о более вязкой и слабой консистенции теста по сравнению с контролем [20]. При этом образцы с использованием муки из пшеничных зародышей после термообработки имеют повышенные показатели пористости и объемного выхода в сравнении с образцами с теми же дозировками муки из пшеничных зародышей, но без термической обработки.

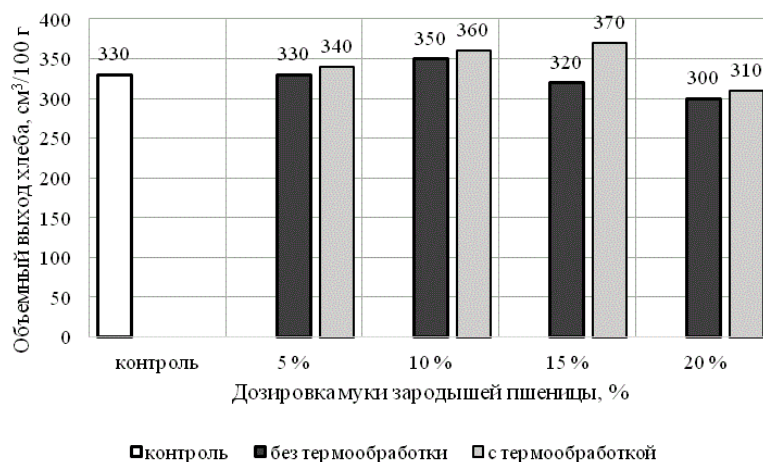


Рисунок 2 – Изменение объемного выхода хлеба от дозировки муки зародышей пшеницы без термообработки и с термообработкой

Таким образом, хлеб, изготовленный с внесением муки из пшеничных зародышей после термического воздействия в количестве 15%, получился лучшего качества по исследуемым показателям по сравнению с другими экспериментальными образцами. Пористость мякиша образца 7 оказалась выше на 0,3%, а объемный выход хлеба на 20 см³/100 г в сравнении с образцом 2 (10% муки из пшеничных зародышей без термического воздействия).

Все опытные изделия по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовали требованиям ГОСТ 31807-2018 «Изделия хлебобулочные из ржаной хлебопекарной и смеси ржаной и пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия» [21].

Также проведены исследования по определению содержания массовой доли клетчатки и золы в образцах: контрольном и 3 (с 15% муки из пшеничных зародышей после термического воздействия). Установлено, что в оптимальном образце содержание клетчатки

превышает на 7,5%, а содержание золы – на 28,2% по сравнению с контролем. Это объясняется более высоким содержанием указанных веществ в муке зародышей пшеницы.

Заключение. Введение в рецептуру хлебобулочных изделий муки из пшеничных зародышей, выдержанной 8 часов при температуре 100 °С, в количестве 15% способствует повышению качества и пищевой ценности готовой продукции, позволяет расширить ассортимент ржано-пшеничного хлеба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Олейник, С. Г. Опыт и перспективы использования продуктов переработки зародышей зерновых культур в технологии хлеба повышенной пищевой ценности / С. Г. Олейник, О. В. Самохвалова, Г. В. Степанькова, Н. В. Лапицкая // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей III Международной научно-практической конференции. 23-24 марта 2017 г. – Минск: БГАТУ, 2017. – С. 131-133.

2. Фёдорова, Р. А. Применение функциональных добавок

и нетрадиционных видов сырья в хлебопекарной промышленности / Р. А. Фёдорова, В. М. Пономаренко // *Процессы и аппараты пищевых производств*. 2011. – № 1. – С. 209-217.

3. Фёдорова, Р. А. Исследование влияния оокеры на качество хлеба / Р. А. Фёдорова // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016. – № 42. – С. 46-51.

4. Пономарева, Е. И. Мука из жмыха зародышей пшеницы – перспективное сырье для производства хлебобулочных изделий / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева, И. С. Быковская // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. – № 3-3. – С. 397-397.

5. Яковлева, О. И. Биохимические особенности продуктов переработки зерна. Отруби / О. И. Яковлева, Р. А. Фёдорова // *Вестник Студенческого научного общества*. 2018. – № 9 (1). – С. 259-261.

6. Скурихин, И.М. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАН, проф. В. А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

7. Коломникова, Я. П. Совершенствование рецептуры сдобных булочных изделий повышенной пищевой ценности / Я. П. Коломникова, Е. В. Литвинова // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности. АПК-продукты здорового питания*. 2016. – № 1 (9). – С. 48-52.

8. Лесникова, Н. А. Влияние механоактивированной муки зародышей пшеницы на качество хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки / Н. А. Лесникова, Л. Ю. Лаврова, Е. Л. Борцова // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2014. – № 5. – С. 42-47.

9. Пономарева, Е. И. Влияние продуктов переработки зародышей пшеницы на показатели качества зернового хлеба / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева // *Вестник ВГУИТ*. 2014. – № 3. – С. 106-109.

10. Лукин, А. А. Разработка технологии производства хлебобулочного изделия с использованием муки из пророщенного зерна пшеницы / А. А. Лукин, С. П. Меренкова // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2016. – Т. 4. – С. 5-12.

11. Фёдорова, Р. А. Исследование влияния добавок функционального назначения на качество кондитерских изделий / Р. А. Фёдорова // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015. – № 41. – С. 52-56.

12. Котова, Т. В. Влияние термической обработки на состав отрубей ржаных / Т. В. Котова, В. Ю. Масаев, А. С. Сухих // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. – Т. 32. – № 12. – С. 86-89.

13. Котова, Т. В. Разработка и исследование технологии мягких сыров с использованием ржаных отрубей: дисс. канд. техн. наук. – Кемерово, 2001. – 132 с.

14. Васюкова, А. Т. Влияние составных компонентов рецептуры на качество дрожжевого теста / А. Т. Васюкова, Т. С. Жилина, О. А. Хлебникова, А. И. Беленков, В. Ф. Пучкова // *Известия ТСХА*. 2013. – № 5. – С. 101-114.

15. Корячкина, С. Я. Обоснование применения нетрадиционного растительного сырья в технологии хлебобулочных изделий / С. Я. Корячкина, В. П. Корячкин, А. В. Микаелян // *Материалы V Международной научно-практической конференции «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века»*. – Кубань: ФГБОУ ВО «КубГТУ». 2017. – С. 205-211.

16. Захарова, Л. М. Производство мягких кислотно-сычужных сыров с растительными компонентами / Л. М. Захарова, Т. В. Котова, А. А. Ильина // *Сыроделие и маслоделие*. 2000. – № 3. – С. 34.

17. Братерский, Ф. Д. Ферменты зерна. – М.: Колос, 1994.

– 196 с.

18. Гончаров, Ю. В. Инновационные аспекты разработки технологии хлеба из проросшего зерна пшеницы: дисс. канд. техн. наук. – Орел, 2008. – 175 с.

19. Матвеева, Т. В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий: монография / Т. В. Матвеева, С. Я. Корячкина. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – 947 с.

20. Рыбаков, Ю. С. Использование механоактивации зародышей пшеницы в производстве хлебобулочных изделий / Ю. С. Рыбаков, Н. А. Лесникова, Л. Ю. Лаврова, Е. Л. Борцова, Т. В. Мажеева // *Аграрный вестник Урала*. 2014. – № 4. – С. 50-53.

21. ГОСТ 31807-2018 «Изделия хлебобулочные из ржаной хлебопекарной и смеси ржаной и пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия». – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.

Статья поступила в редакцию 11.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 66.063.8

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0015

О ДИСПЕРГИРОВАНИИ ЖИДКИХ СРЕД

© 2020

Авроров Валерий Александрович, доктор технических наук,
профессор кафедры «Пищевые производства»

Мурашкина Оксана Александровна, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»

Сарафанкина Елена Александровна, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: v_avrorov@bk.ru)

Аннотация. В статье рассмотрены способы и устройства для диспергирования неоднородных дисперсных систем (эмульсий и суспензий) и распыления однородных жидких сред. Проведен сравнительный анализ известных диспергирующих устройств: распылительных дисков, гидравлических осевых и центробежных форсунок, пневмогидравлических форсунок, распылителей ударно-волнового принципа действия, многоканального высокоскоростного роторного диспергатора. Отмечены их преимущества и недостатки. Выделены основные факторы, оказывающие решающее влияние на параметры распыла жидких сред и приведены зависимости для их определения. Рассмотрены условия движения струек жидкости в многоканальном роторном диспергаторе, обуславливающие возникновение кавитационных эффектов и волновых пульсаций в жидкой среде, способствующих ее круговому ультратонкому распылению. Определены кинематические и динамические параметры движения струек диспергируемой жидкости в отверстиях ротора и статора.

Ключевые слова: однородные жидкие среды, неоднородные жидкие дисперсные системы, способы и устройства диспергирования, размеры капель, кинематические и динамические параметры диспергирования.

ABOUT DISPERSION OF LIQUID MEDIA

© 2020

Avrorov Valery Altksandrovich, doctor of technical Sciences, Professor of the Department "Food production»

Murashkina Oksana Aleksandrovna, senior lecturer of the Department "Food production»

Sarafankina Elena Aleksandrovna, senior teacher of the Department "Food production»

Penza state technological University

(440039, Russia, Penza, Baidukova Ave. / Gagarina str., 1A / 11, e-mail: v_avrorov@bk.ru)

Abstract. The article considers methods and devices for dispersing heterogeneous dispersed systems (emulsions and suspensions) and homogeneous liquid media. A comparative analysis of known dispersing devices is carried out: spray disks, hydraulic axial and centrifugal injectors, pneumatic-hydraulic injectors, shock-wave principle sprayers, multi-channel high-speed rotary dispersant. Their advantages and disadvantages are noted. The main factors that have a decisive influence on the parameters of liquid media atomization are highlighted and dependencies for their determination are given. The conditions for the movement of liquid streams in a multi-channel rotary disperser that cause the appearance of cavitation effects and wave pulsations in the liquid medium, which contribute to its ultra-thin circular spray, are considered. The kinematic and dynamic parameters of the movement of dispersed liquid jets in the rotor and stator holes are determined.

Keywords: homogeneous liquid media, heterogeneous liquid dispersion systems, methods and devices for dispersion, droplet sizes, kinematic and dynamic parameters of dispersion

Введение. В различных отраслях промышленности приходится иметь дело с процессами получения и применения жидкокапельных аэрозольных сред, а также неоднородных дисперсных систем, к которым относятся эмульсии и суспензии. В одних случаях ставятся задачи повышения степени однородности эмульсий и суспензий, их стабильности, в других, задачи ультратонкого диспергирования (распыления) и создания пространственно-однородных аэрозольных жидкогазовых сред.

Так, например, жидкокапельные аэрозольные среды используются для увлажнения, очистки воздуха от пыли в шахтах, на мукомольных и других предприятиях, при нанесении лакокрасочных покрытий, тушении возгораний, дезинфекции воздуха от микробов и создании новых видов более эффективных лекарственных аэрозолей с размерами капель несколь-

ко десятков нанометров. Ультратонкое распыление пищевых эмульсий с последующей сушкой капель аэрозоля используется для получения сухого молока, растворимого кофе и других порошкообразных пищевых продуктов. Жидкие эмульсии и суспензии применяются при производстве соков, паст и т.д.

Целью данной статьи являлся сравнительный анализ известных способов и устройств для диспергирования жидких сред и оценка характера движения струек жидкости в разработанной конструкции многоканального высокоскоростного роторного диспергатора [1].

Материалы и результаты исследования. Распыление жидких сред может осуществляться двумя основными способами: капельным и струйным. Капельное распыление идет путем образования капель на выходе из отверстий сопла распылительного устрой-

ства. При струйном распылении струя жидкости распадается на отдельные капли под действием перепада давления, кинетической энергии быстровращающихся элементов или динамического воздействия газового потока.

Для диспергирования жидкости используются распылительные устройства различного принципа действия и конструктивного исполнения [2-4]:

- распылительные диски, в которых для распыления подаваемой жидкости на мельчайшие капли используется кинетическая энергия быстро вращающегося диска.

- гидравлические форсунки, в которых энергия для распада струи на отдельные капли обусловлена давлением нагнетания или полем центробежных сил. К этому типу относятся, например, осевые и центробежные форсунки;

- пневмогидравлические, в которых энергия, необходимая для распада струи, подводится потоком газа;

- форсунки ударно-волнового принципа действия;

- многоканальные роторные диспергаторы

Размеры капель при центробежном дисковом распылении зависят от конструкции распылительного диска, его окружной скорости, плотности дисперсной среды и составляют от 20 до 210 мкм. Окружная скорость распылительных дисков в зависимости от размеров может достигать 120...130 м/с.

Основными параметрами дискового диспергирования являются средний диаметр частиц, радиус факела распыления, потребляемая на распыление мощность [5, 18].

Средний диаметр частиц:

$$\bar{d} = \frac{9,85}{\omega} \sqrt{\frac{a}{R_d \rho_n}} \quad (1)$$

где:

a – поверхностное натяжение продукта, Н/м;

ω – угловая скорость вращения распылительного диска, с⁻¹;

R_d – радиус диска, м;

ρ_n – плотность продукта, кг/м³.

Радиус факела распыления по критериальному уравнению А.А.Долинского

$$\bar{R}_\phi = 0,33 \bar{d} \frac{\rho_n}{\rho_B} Re^{0,36} Gu^{-0,4} Ko^{-0,2} \quad (2)$$

где:

ρ_B – плотность воздуха, кг/м³ (определяется в зависимости от температуры);

Re – критерий Рейнольдса, $Re = \frac{v_c \rho_n \bar{d}}{\mu}$;

v_c – скорость частиц, $v_c = 0,85 v_H$;

$v_n = \frac{\pi R_d n}{30}$ – начальная скорость частиц, м/с;

ρ_{np} – плотность сухого продукта;

μ – динамическая вязкость продукта;

$$Gu = \frac{T - T_m}{T_n}$$

Gu – критерий Гухмана;

T_m – температура мокрого термометра по I-d диаграмме, К;

Ko – критерий Косовича.

Мощность, потребляемая на диспергирование эмульсии

$$N = 3,125 \cdot 10^{-7} v_c^3 G_3 / 2R, \text{ кВт.} \quad (3)$$

Центробежные диски обладают существенными преимуществами перед форсунками по возможности диспергирования эмульсий и суспензий с различной вязкостью и равномерности распыла. При этом энергозатраты при дисковом распылении сравнимы с энергозатратами форсунок и составляют от 5 до 10кВт на 1000 кг диспергируемой жидкости.

К недостаткам можно отнести высокую стоимость дискового узла диспергирования, его чувствительность к дисбалансу.

Распылительные диски по конструктивному исполнению делятся на гладкие, с канавками и сопловыми. Гладкие диски более просты по устройству и практически не подвержены забиванию, но не способны обеспечить тонкий распыл. Форма дисков может быть тарельчатой, чашечной или плоской. Чашечные диски по сравнению с тарельчатыми и плоскими дают более тонкий распыл. Лопастные диски с плоскими или изогнутыми лопатками обеспечивают более широкий и равномерный факел. Однако характеризуются повышенным вентиляционным эффектом, что приводит к увеличению мощности привода (рис.1).



Рисунок 1 – Примеры конструктивных исполнений распылительных центробежных дисков

Регулирование диаметра факела возможно в ограниченных пределах путем изменения частоты вращения распылительного диска.

В осевых гидравлических форсунках размер факела можно регулировать изменением диаметра отверстия форсунки и величины давления подаваемой жидкости. Такие форсунки относятся к устройствам струйного типа и представляет собой предельно простую конструкцию, состоящую из корпуса, вкладыша с винтовой нарезкой для закручивания потока жидкости (рис.2), что повышает турбулентность ее движе-

ния и способствует уменьшению размера капель.

Наименьший размер капель в зависимости от характеристик диспергируемой среды и конструктивных параметров форсунки по данным [6] может составлять 50...150 нм, т.е. представлять собой водяную пыль или туман.

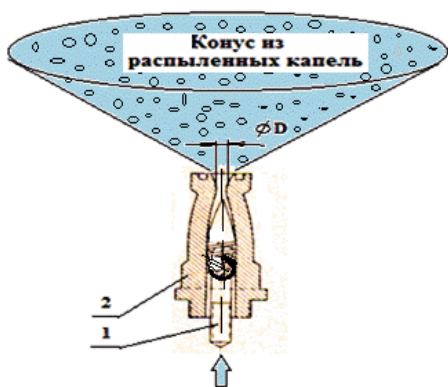


Рисунок 2 – Схема распыления жидкой среды в гидравлической осевой форсунке

1 – стержень с винтовой нарезкой. 2 – корпус

Расход жидкости может быть определен как:

$$Q = kDp^n, \text{ кг/ч} \quad (4)$$

где:

k – коэффициент, учитывающий конструктивное исполнение форсунки;

D – диаметр выходного отверстия, мм;

p – давление подаваемой в форсунку жидкой среды, МПа;

n – показатель степени, зависящий от типа форсунки.

К положительным моментам форсунки относятся также низкие энергозатраты на диспергирование (2...4 кВт на одну тонну продукта) и высокая пропускная способность (более 4500 кг/ч). К недостаткам этого вида диспергирования практическая невозможность распыления неоднородных дисперсных сред с высокой концентрацией дисперсной фазы, износ выходного отверстия, необходимость создания высокого давления струи в зависимости от вида подаваемой жидкости от 3 до 20 МПа.

Пневматические форсунки распыляют жидкость высокоскоростной струей пара или воздуха, подаваемого под давлением 0,1...1,0 МПа. Они отличаются более высокой пропускной способностью по сравнению с чисто гидравлическими форсунками (до 12000 кг/ч), и позволяют регулировать не только размеры факела распыления, но и степень дисперсности капель. Воздух, подаваемый в корпус форсунки, увлекает жидкость, которая на выходе распыляется. Расход сжатого воздуха в зависимости от конструктивного исполнения форсунки и физико-механических свойств жидкости составляет от 0,3 до 0,6 м³.

К достоинствам пневмогидравлических форсунок относится возможность распыления вязких суспензий и паст, чего невозможно обеспечить применением чисто гидравлических форсунок. К недостаткам

относятся большой расход энергии, неоднородность распыла при максимальной производительности.

Максимальный диаметр капель может быть определен по формуле:

$$d = \frac{8Ka}{\rho_B v_c^2}, \text{ м} \quad (5)$$

где:

K – эмпирический коэффициент, зависящий от свойств жидкой среды, ($K = 116...392$);

a – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

ρ_B – плотность воздуха, кг/м³;

v_c – скорость струи на выходе форсунки, м/с.

Пневмогидравлические форсунки работают на сжатом воздухе. Сжатый воздух проходит через сопло Лавалля, сжимаясь и разгоняясь до сверхзвуковой скорости и далее, адиабатически расширяясь, смешивается с жидкостью и выходит через диффузор. Примером такой форсунки с сосной подачей жидкости и газа является форсунка, применяемая для пылеподавления [7,8].

Процесс формирования капель определяется конструктивным исполнением и режимными параметрами форсунки, влияющими на фрагментацию жидкостной пленки, выходящей из ее кольцевого канала. Силы аэродинамического сопротивления, возникающие на границе раздела фаз жидкость – газ приводят к возникновению волн на поверхности жидкостной пленки, которые отделяют порции жидкости в виде сетчатых образований, отделившиеся от жидкостной пленки, которые далее начинают дробиться на отдельные капли [13,14].

Для центробежных форсунок в общем случае тангенс угла раскрытия факела равен отношению тангенциальной и осевой составляющей вектора скорости [9,20].

На рисунке 3 приведена схема центробежной форсунки с двухканальным завихрителем. Данное распылительное устройство может обеспечить требуемую дисперсность капель распыла при минимально возможном давлении на входе в форсунку при условии, что в камере закручивания жидкогазового потока, сопловом отверстии и тангенциальных каналах сопротивление будет небольшим. В данной конструкции это обеспечивается минимальным числом каналов и небольшой их рабочей длиной, равной одному или двум диаметрам d_{ex} .

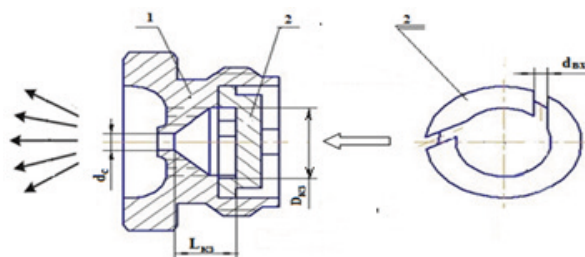


Рисунок 3 – Схема центробежной форсунки с двухканальным завихрителем
1 – корпус форсунки, 2 – завихритель

Распылению жидких сред посредством ударно-волновой генерации высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей посвящен ряд исследований [4,10,11].

На рисунке 4 приведена схема ударно-волнового распылителя [12].

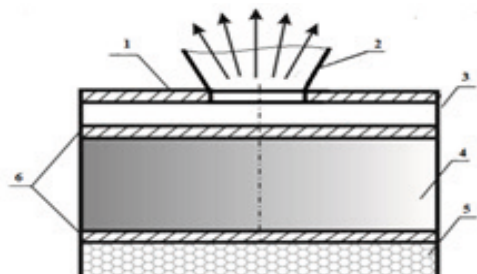


Рисунок 4 – Схема распылителя ударно-волнового способа действия

1 – отражатель, 2 – сопло, 3 – корпус распылителя, 4 – жидкая среда, 5 – заряд ВВ, 6 – мембраны.

Сравнительный анализ известных способов и конструкций диспергирующих устройств позволяет сделать следующие выводы:

- распылительные диски способны обеспечить круговое свободное распыление вязких эмульсий и суспензий, однако обладают большой инерционностью, ограничены по своим скоростным возможностям и не способны обеспечить пульсирующий режим распыления;

- гидравлические осевые форсунки способны обеспечить ультратонкое распыление жидких сред в виде единичного конусного факела при низких энергозатратах на диспергирование, но практически не применимы для распыления вязких жидкостей и требуют большого давления нагнетания подаваемой жидкости;

- центробежные форсунки обеспечивают завихрение и турбулизацию потока, способны работать при меньшем давлении нагнетания по сравнению с осевыми форсунками, но требуют принятия мер по снижению сопротивления в камере закручивания жидкого потока, сопловом отверстии и тангенциальных каналах;

- пневмогидравлические форсунки, как и распылительные диски, способны диспергировать вязкие жидкие среды, однако характеризуются неоднородностью распыла при работе с максимальной производительностью и повышенным расходом энергии;

- диспергаторы ударно-волнового принципа действия просты по устройству, энергонезависимы, могут комбинироваться с центробежными форсунками, обеспечивают высокую скорость истечения жидкости из сопла и высокую дисперсность частиц аэрозоля однако являются одноразовыми устройствами, требующими для повторного срабатывания возобновления источника энергии, и дающими сравнительно небольшой факел распыла по сравнению с центробежным способом распыления.

Разработанный в ПензГТУ многоканальный ро-

торный диспергатор [1], содержащий высокоскоростной ротор с рядом отверстий для выхода струек жидкости и неподвижный статор с такими же отверстиями сочетает преимущества многих известных диспергирующих устройств. На нем можно диспергировать в непрерывном режиме различные неоднородные дисперсные системы с различной вязкостью, улучшать их свойства за счет измельчения частиц дисперсной фазы, обеспечивать круговой распыл с каплями высокой степени дисперсности за счет возникающих при вращении ротора кавитационных эффектов и волновых пульсаций в диспергируемой жидкой среде [15,16,17,19].

Рассмотрим некоторые параметры истечения жидкости на действующей модели многоканального роторного диспергатора (рис. 5).

Исходные данные:

Внутренний радиус ротора 48 мм = 0,048м;

Толщина стенки ротора 3 мм = 0,003м;

Диаметр отверстия в стенке ротора 2мм = 0,002м;

Число отверстий в стенках ротора и статора 16;

Зазор между ротором и статором 0,1 мм;

Толщина стенки статора 4 мм = 0,004 м;

Диаметр отверстия в стенке статора 2 мм = 0,002м;

Длина дуги между осями соседних отверстий статора 10,64мм;

Длина дуги перемычки между соседними отверстиями статора 8,64 мм;

Число оборотов ротора 60...200000 мин⁻¹.

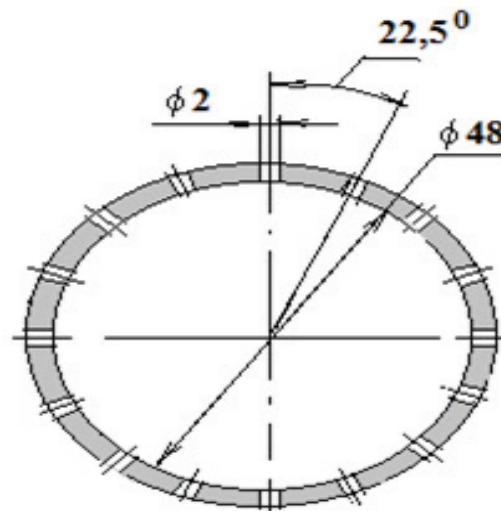


Рисунок 5 – Размеры отверстий в стенке ротора диспергатора

Угловая частота вращения ротора:

$$\omega_p = \frac{\pi n}{30} \quad (6)$$

где n – число оборотов ротора, мин⁻¹.

Можно допустить, что в стационарном режиме жидкость, находящаяся во внутренней полости ротора, будет иметь ту же угловую скорость.

Линейная скорость точки, находящейся на внутренней окружности ротора, и соответственно скорость потока жидкости, будет равна:

$$v_p = v_n = \omega_p R_p \quad (7)$$

где R_p – радиус внутреннего отверстия ротора, м.

При $\omega_p = 6280 \text{ с}^{-1}$, $v_p = 150,72 \text{ м/с}$,

при $\omega_p = 20933,3 \text{ с}^{-1}$, $v_p = 502,4 \text{ м/с}$.

В подвижной системе координат на жидкость, находящуюся в роторе при его вращении будут действовать две силы: центробежная, которая прижимает слой жидкости к желобу ротора и заставляет жидкость проникать в отверстия, выполненные в стенке ротора, и поворотная (сила Кориолиса), вызывающая ее вращение в желобе.

Рассмотрим момент времени, когда оси отверстий ротора и статора полностью не совпадают. Этот момент наступает тогда, когда отверстия ротора перекрываются перемычками между отверстиями статора, и жидкость не может поступать и выходить из отверстий в стенке статора. В течение времени перекрытия будет увеличиваться давление струек жидкости, находящихся в отверстиях ротора, на перемычки между отверстиями статора, которое затем будет снижаться в зависимости от площади поперечного сечения открываемых очередных отверстий по мере вращения ротора, а скорость истечения через отверстия увеличиваться (рис. 6). Такое периодическое чередование совпадающих и несовпадающих отверстий в стенках ротора и статора вызовет пульсирующий режим изменения давлений и скоростей истечения жидкой среды из отверстий статора.

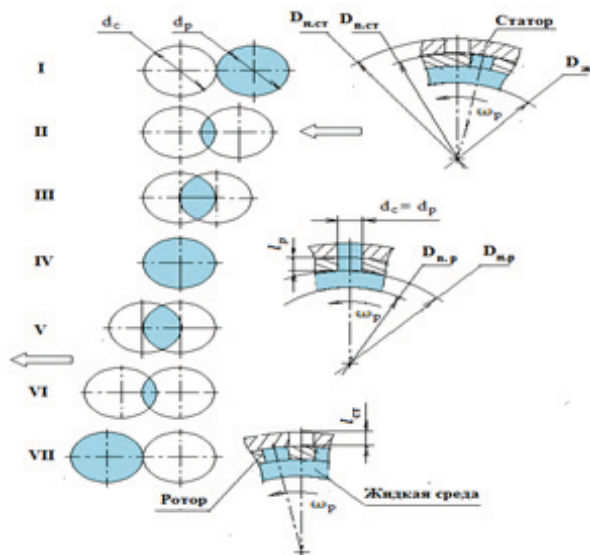


Рисунок 6 – Схема взаимных положений отверстий ротора и статора диспергатора при вращении ротора:

I – отверстие ротора упирается в перемычку между соседними отверстиями статора;

II – III – стадии последовательного увеличения площади сечения для прохождения жидкой среды в отверстиях ротора и статора;

IV – полное совпадение осей отверстий ротора и статора;

V – VI – стадии последовательного уменьшения площади сечения для прохождения жидкой среды в отверстиях ротора и статора;

VII – отверстие ротора упирается в следующую перемычку между отверстиями статора

Где $D_{н.см.}$, $D_{в.см.}$ – наружный и внутренний диаметры статора; $D_{н.р.}$, $D_{в.р.}$ – наружный и внутренний диаметры ротора; $D_{ж.с.}$ – внутренний диаметр жидкой среды в о вращающемся роторе; $l_{см.}$, l_p – длина отверстия в статоре и роторе соответственно; ω_p – угловая частота вращения ротора.

Определим величину давления струйки жидкости на перемычку между отверстиями статора при длине ее дуги равной 8,64 мм.

Величина центробежной силы, действующей на отдельную струйку равна

$$F_u = m\omega^2 R_n \quad (8)$$

где m – масса жидкости в отверстии ротора, кг;

R_n – наружный радиус ротора, м.

Масса жидкости в отверстии ротора:

$$m = \rho V \quad (9)$$

где:

V – объем жидкости в отверстии ротора, м³;

ρ – плотность жидкости, кг/м³ ($\rho = 1027 \text{ кг/м}^3$);

$V = \pi r_c^2 l = 0,942 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$;

$m = 0,967 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$;

$F_u = 110,17 \text{ Н}$.

Величина давления, оказываемая отдельной струйкой на перемычку между отверстиями статора:

$$p = F_u / S \quad (10)$$

где:

S – площадь контакта, м²;

$S = \pi r_c^2 = 3,14 \text{ мм}^2$;

$p = 35,08 \text{ Н/мм}^2$.

Заключение. Величина этого давления будет максимальной только в позициях I и VII (рис. 6). В остальных позициях по мере приближения к позиции IV давление будет снижаться и достигнет в ней минимума. Далее при переходе к позициям V-VII давление будет расти и вновь достигнет максимума в позиции VII. Затем процесс будет повторяться с периодичностью кратной частоте вращения ротора. Соответственно будет изменяться по величине и скорость истечения жидкости из отверстий статора.

Периодическое пульсирующее изменение скорости истечения струек жидкости будет способствовать увеличению интенсивности турбулентных пульсаций, что в свою очередь улучшит степень диспергирования жидких сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Авроров В.А., Авроров Г.В. Центрифуга. Патент РФ № 2422213, В04В5/12, 2009.
2. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыления жидкостей / Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М: Химия, 1984. – 324с.
3. Пажи Д.Г., Корягин А.А., Ламм Э.Л. Распыливающие устройства в химической промышленности. – М; Химия, 1975. – 200с.
4. Коровина Н.В. Создание аэрозольных сред с помощью автономных распылительных устройств, их эволюция и распространение в замкнутых объемах / Дисс на соискание учен. степени канд. физ. мат. наук. – Бийск, 2014. – 119с.
5. Остриков А.Н., Парфенопуло М.Г., Шевцов А.А. Практикум по курсу технологического оборудования. – Воронеж:

ВГТА, 1999. – 424с.

6. Стабников В.Н., Баранцев В.П. и др. Процессы и аппараты пищевых производств. – М: Агропромиздат, 1985. – 509с.

7. Пашкевич М.А. и др. Форсунка для пылеподавления. Патент РФ № 2446021, 2012.

8. Иванов А.В., Смирнов Ю.Д., Капранов И.Е. Исследование процессов диспергирования жидкости при работе форсунок пылеподавления. Гидрология. Ученые записки, №25. –НМСУ. «Горный». С.26-34.

9. Головачевский Ю.А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности. – М: Машиностроение, 1967. – 196с.

10. Кудряшова О.Б. Ударно-волновая генерация высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей / Ползуновский вестник, №4, 2010. – С.95-100.

11. Ворожцов Б.И., Кудряшова О.Б., Павленко А.А. Физико-математическое моделирование ударно-волновой генерации жидкокапельных аэрозолей в конструкции центробежной форсунки / Известия вузов. Физика, 2010, т.53, № 22/2. – С.102-108.

12. Кудряшова О.Б. и др. Взрывная генерация высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей и их эволюция / Инженерно-физический журнал, 2010, т.83, №6. – С.1084-2004.

13. Stapper В.Е., Sowa W.A. and Samuelsen G.S., 1992, "An Experimental Study of the Effects of Liquid Properties on the Breakup of a Two-Dimensional Liquid Sheet," ASME J. Eng. Gas Turbines Power, 114, pp. 39–45.

14. Disintegration of an Annular Liquid Sheet in a Coaxial Air Blast Injector at Low Atomizing Air Velocities, Optical Diagnostics in Engineering, 5, pp. 27–38.

15. Авровов В.А. О высокоскоростном роторном диспергировании жидких сред / Химическое и нефтегазовое машиностроение, №10, 2019. – С.12–14.

16. Авровов В.А. Анализ движения диспергируемой жидкой среды в отверстиях ротора и статора / Химическое и нефтегазовое машиностроение, №12, 2019. – С.6–9.

17. Авровов В.А. Анализ движения жидкости в зазоре между ротором и статором высокоскоростного диспергатора / Химическое и нефтегазовое машиностроение, №2, 2020. – С.12–14.

18. Хафизов Ф.Ш., Афанасенко В.Г., Боев Е.В. Разработка конструкции устройства для диспергирования жидкости и методики расчета его основных параметров./Анализ и синтез машин. – Уфа:УГНТУ, 2008. – С.48-54.

19. Хафизов Ф.Ш., Афанасенко В.Г., Хафизов Н.Ф. Кавитирование жидкой фазы как способ интенсификации массообменных процессов // Естественные и технические науки. 2007. № 4. С. 267–268.

20. Хафизов Ф.Ш., Афанасенко В.Г., Хафизов Н.Ф. Устройство для диспергирования жидкости Патент РФ № 68653, МПК F23D11/04. Заявл. 02.05.2007. Оpubл. 27.11.2007. Бюлл. № 33.

Статья поступила в редакцию 25.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 634.1.076, 664.8.03,664-4

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0016

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОХРАНЕНИЯ ЯБЛОК НА ИХ ЛЕЖКОСПОСОБНОСТЬ

© 2020

Тимакова Роза Темерьяновна, кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры пищевой инженерии*Уральский государственный экономический университет**(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 марта/Народной воли, 62/45, e-mail: trt64@mail.ru)*

Аннотация. Сохраняемость и качество пищевой продукции определяется применяемыми технологиями хранения. По результатам комплексного исследования установлено, что применение ионизирующего излучения дозой 1 кГр при закладке яблок на хранение и последующего хранения в регулируемой газовой среде с объемными долями кислорода, двуокиси углерода и азота соответственно 3,0%, 3,5% и 93,5% обеспечивает пролонгацию сроков хранения до 8 мес свежих яблок помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» в результате хорошей лежкоспособности за счет снижения транспирации, низких показателей естественной убыли (до 2,29%) и микробиологической обсемененности, по сравнению с хранением в воздушной среде (срок хранения – 5 мес), в РГС – до 7 мес, после обработки ионизирующим излучением и последующим хранением в воздушной среде – до 6 мес. При хранении в РГС обработанных ионизирующим излучением плодов яблок, достигших потребительской степени зрелости, определены высокие показатели твердости мякоти (8,5 кг/см²) при незначительном размягчении плодов за счет увеличения содержания пектиновых веществ (на 0,41%). В результате расхода энергии на жизнедеятельность плодов отмечена тенденция к снижению содержания сахаров и органических кислот (кислотность) в процессе хранения обработанных ионизирующим излучением и хранящихся в РГС яблоках на 0,29% и 0,18% соответственно в отличие от других способов хранения – при хранении в воздушной среде на 0,44% и 0,22% соответственно, при хранении в РГС – на 0,39% и 0,19% соответственно и при хранении в воздушной среде обработанных ионизирующим излучением яблоках – 0,35% и 0,20% соответственно. Выявлена тенденция к снижению содержания аскорбиновой кислоты при всех способах хранения, в тоже время в яблоках, обработанных ионизирующим хранением на этапе его закладки на хранение и при последующем хранении в РГС, витамин С сохранился лучше (до 70,5%).

Ключевые слова: яблоки, естественная убыль, степень зрелости, воздушная среда, РГС, ионизирующее излучение, лежкоспособность.

THE IMPACT OF TECHNOLOGY PRESERVATION OF APPLES IN THEIR KEEPING QUALITY

© 2020

Timakova Roza Temer'janovna, candidate of agricultural Sciences, associate Professor of food engineering
*Ural state University of Economics**(620144, Russia, Ekaterinburg, street March 8/People's will, 62/45, e-mail: trt64@mail.ru)*

Abstract. The preservation and quality of food products is determined by the storage technologies used. According to the results of a comprehensive study of the use of ionizing radiation dose of 1 kGy at the laying of the apples in storage, followed by storage in controlled atmosphere with a volume fraction of oxygen, carbon dioxide and nitrogen respectively 3,0%, 3,5% and 93.5% and serves to prolong the storage time to 8 months fresh apples pomological varieties of «Renet Simirenko Plato» as a result of good keeping quality due to the reduction of transpiration and low rates of natural attrition (to 2.29%) and microbiological contamination, compared with storage in the air (storage period - 5 months), in CSG – up to 7 months, after treatment with ionizing radiation and subsequent storage in the air – up to 6 months. When storing apples treated with ionizing radiation that have reached consumer maturity, high indicators of pulp hardness (8.5 kg/cm²) were determined in the CSG, with a slight softening of the fruit due to an increase in the content of pectin substances (by 0.41%). As a result of energy consumption for the vital activity of fruits, there is a tendency to reduce the content of sugars and organic acids (acidity) in the storage process of apples treated with ionizing radiation and stored in CSG by 0.29% and 0.18%, respectively, in contrast to other storage methods – when stored in the air by 0.44% and 0.22%, respectively, when stored in CSG – by 0.39% and 0.19%, respectively, and when stored in the air of apples treated with ionizing radiation – 0.35% and 0.20%, respectively. There was a tendency to decrease the content of ascorbic acid in all storage methods. at the same time, vitamin C was preserved better (up to 70.5%) in apples treated with ionizing storage at the stage of its storage and subsequent storage in CSG.

Keywords: apples, natural decline, degree of maturity, air environment, CSG, ionizing radiation, keeping capacity.

Введение. Согласно Стратегии экономической безопасности РФ на период до 2030 года, разработка и внедрения современных промышленных технологий является одним из направлений государственной политики.

Пищевые продукты растительного происхождения

являются ценными источниками водорастворимых витаминов, органических кислот, флавоноидов и дубильных веществ, участвующих в физиологических процессах организма человека.

Яблоки относятся к наиболее распространенной в России плодовой культуре. В 2019 году в хозяйствах

всех категорий был собран рекордный урожай яблок – около 1,7 млн. т. Лидером по сбору яблок является Краснодарский край – на его долю приходится более 30% всего собранного урожая [1]. Применяемые способы сохранения свежих яблок, которые относятся к дышащей продукции с высокой биохимической метаболической активностью и соответственно требующей особых условий хранения, должны обеспечить их сохраняемость на этапах сбора, транспортировки и хранения.

Применение агроэкологических технологий и биотехнологических приемов при выращивании яблок позволяет получать продукцию высокого качества, в том числе и как органической продукции согласно требований Федерального закона РФ от 03.08.2018 № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». При этом продолжительность хранения яблок, по мнению [2], зависит от помологического сорта и предуборочной обработки. Для круглогодичного снабжения населения страны свежей продукцией необходимо учитывать различные факторы сохранения, т.к. потери при хранении связаны с физиологическим состоянием плода на момент съема и закладки яблок на хранение. Несбалансированное соотношение сахаров и кислот при раннем съеме приводит к понижению устойчивости плодов к загару и ухудшению органолептических показателей. При позднем съеме начинается процесс старения и снижается плотность мякоти [3]. По данным [1,4] около трети собранного урожая яблок теряется в период длительного хранения в плодохранилищах, еще четверть потерь приходится на потери в процессе их краткосрочного хранения в условиях розничной торговли. Естественная убыль образуется при хранении в результате физического процесса испарения воды (две трети от всех потерь) и за счет вовлечения сухих растворимых веществ в протекающие в яблоках физиологических процессах при хранении [5].

В процессе хранения за счет протекающих в плодах физических, биохимических и химических процессов происходит активизация окислительных процессов и гидролитического распада органических соединений, что приводит к уменьшению содержания таких пищевых нутриентов, как витамины, органические кислоты, дубильные вещества и флавоноиды. В процессе дыхания возможно увеличение температуры плодов, что способствует микробальной порче [6]. Для разных помологических сортов требуется подбор температурного режима хранения, который является важнейшим регулятором жизнедеятельности и сохранности плодов [7,8] и в тоже время часто выступает как сопутствующий фактор при других способах хранения плодовой продукции.

В промышленных масштабах наиболее распространены физические способы, обеспечивающие на молекулярном, клеточном и межклеточном уровне протекание биохимических процессов при воздей-

ствии температур, удалении влаги, обработки давлением, ионизирующим излучением, инфракрасными лучами и др., а также подавление и прекращение жизнедеятельности микроорганизмов, и способы, основанные на факторах химического воздействия, при хранении в газовой среде. Охлаждение в воздушной среде или в других газовых средах наиболее распространено за счет их универсальности и простоты.

Установлено, что в процессе хранения зимних яблок в воздушной среде происходит повышение содержания аскорбиновой кислоты, увеличение концентрации моносахаров на 7-10%, снижение содержания органических кислот (кислотности) на 12-59% и твердости мякоти яблок на 13,5-19,3% [9].

Основная цель при осуществлении хранения, по мнению [10], определяется созданием таких условий хранения, когда в результате продолжающейся жизнедеятельности яблок возможно снижение скорости процесса дыхания и медленного созревания плодов без снижения потребительских свойств, т.е. поддержание естественной лежкости плодов, за счет совокупного влияния факторов температурного режима и регулируемой атмосферы для защиты от функциональных и микробиологических заболеваний и подавления процесса гниения, вызванного энзиматическими спорами.

Применение различных газовых сред (N_2 , CO_2 , Ar); регулируемой газовой среды (РГС) или модифицированной газовой среды (МГС) позволяет инактивировать микробную среду. При применении РГС требуется осуществление контроля за постоянным поддержанием заявленных концентраций воздушной среды.

При применении метода РГС позволяет улучшить внешнего вида, уменьшить естественную убыль и увеличить сроки годности [11], при этом, по мнению [12], газовые среды подбираются с определенной концентрацией углекислого газа, кислорода и азота, например для свежих плодов и овощей концентрация CO_2 , O_2 и N_2 составляет 3-10, 2-10 и 80-95% соответственно.

Назирова Р.М. и соавторы [13] отмечая, что хранение в атмосфере измененного состава является одним из перспективных и инновационных методов долгосрочного хранения плодовоовощной продукции, установили влияние соотношения концентраций основных газов (кислород, углекислый газ, азот) на интенсивность дыхания и созревание плодовоовощной продукции. Повышенное содержание CO_2 вызывает задержку созревания, торможение ферментативных реакций, процесса метаболизма органических кислот, распада пектиновых веществ и хлорофилла, развитие физиологических и грибковых заболеваний. Наиболее активно проявляются асептические свойства углекислого газа при высоких концентрациях (20-25%) и низких температурах, однако возможно ухудшение качества при концентрациях углекислого газа свыше 10%. В тоже время пониженная концентрация углекислого

газа способствует развитию анаэробных бактерий. Азот, не оказывая непосредственного ингибиторного воздействия на развитие микроорганизмов, обеспечивает удаление остатков кислорода.

Наибольшее снижение содержания воды и пищевых нутриентов происходит в плодах осенних сортов яблок «Уэлси» и «Жигулевское» при хранении в обычной атмосфере при температуре +4°C по сравнению с хранением в модифицированной атмосфере с содержанием CO_2 2,0...2,8% при температуре + 2°C. Естественная убыль в МА составляла 0,6% по сравнению с хранением в обычной атмосфере – 2,0...2,2% [14].

При холодильном хранении в контролируемой среде (концентрация кислорода 5,2% и диоксида углерода 3,6%) с применением газоселективных трековых мембран наблюдается продление сроков хранения яблок до 90 суток [15].

Перспективным способом сохранения пищевой продукции в промышленных масштабах является технология обработки ионизирующим излучением [16-18] за счет уменьшения микробной обсемененности [19] в результате повреждения молекул ДНК микроорганизмов, а также гамет насекомых и меристем растений [20]. В соответствии с требованиями ГОСТ 33302-2015 «Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки» применение ионизирующего излучения разрешено на территории РФ с 2017 года для снижения численности вредителей, обычно сопутствующих свежей сельскохозяйственной продукции. Типичный диапазон поглощенных доз по ГОСТ 33302-2015 составляет от 150 до 600 Гр. По данным [21] свежая сельскохозяйственная продукция чувствительна к дозе облучения, соотношение максимальной к минимальной дозе излучения устанавливается 1,35–1,4:1,0. По результатам исследований [22] яблоки предлагается обрабатывать дозами до 1-2 кГр. В тоже время по данным [23] при обработке яблок дозой более 0,6 кГр возможна солиubilизация пектинов, целлюлозы и крахмала, что приводит к размягчению плодов.

В последние годы формируются прогрессивные технологии хранения, одновременно с этим улучшаются традиционные, в том числе за счет симбиоза разных способов хранения для повышения эффективности и возможности промышленного применения.

В связи с этим, **цель** эксперимента заключается в комплексном исследовании лежкоспособности и качества яблок свежих помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» согласно требований Технического регламента ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» при разных способах хранения.

Материалы и методы исследования. К объектам исследования относятся яблоки зимнего помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» (страна произрастания РФ). Были отобраны целые и чистые плоды, откалиброванные по размеру (в диаметре составляли $8,0 \pm 1,0$ см), в съемной степени зрелости, без видимых дефектов кожицы согласно требований

ГОСТ Р 57976-2017 «Фрукты овощи свежие. Термины и определения», ГОСТ 34314-2017 «Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия».

Сформированы 4 группы образцов по 50 плодов в каждой: 1-я группа (контрольная) – плоды яблок, необработанные ионизирующим излучением и хранящиеся в воздушной среде; 2-я группа (опытная) – яблоки, необработанные ионизирующим излучением и хранящиеся в РГС; 3-я группа (опытная) – яблоки, обработанные ионизирующим излучением дозой 1 кГр и хранящиеся в воздушной среде; 4-я группа (опытная) – яблоки, обработанные ионизирующим излучением дозой 1 кГр и хранящиеся в РГС.

Хранение яблок свежих осуществлялось при температуре +2±3°C при относительной влажности воздуха в камере 91±1% в течение 8 мес. РГС выбрана по второму типу РГС с учетом требований ГОСТ Р 50421-92 (ИСО 6949-88) «Фрукты и овощи. Принципы и технологические приемы хранения в регулируемых газовых средах» и ГОСТ Р 50528-93 «Яблоки свежие. Хранение в контролируемой атмосфере» – РГС с объемной долей кислорода в пределах от 2 до 4% (в среднем 3%) и объемной долей двуокиси углерода – от 3 до 5%. При хранении плодов 2-й и 4-й опытных групп состав газовой среды включает объемные доли кислорода, двуокиси углерода и азота соответственно $3,0 \pm 0,2\%$, $3,5 \pm 0,1\%$, $93,5 \pm 0,3\%$.

Для обработки ионизирующим излучением плодов яблок свежих 3-й и 4-й опытных групп используется линейный ускоритель электронов УЭЛР-10-10С2 в соответствии с требованиями ГОСТ 33302-2015 «Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки», затем яблоки закладывали на хранение.

Качество свежих яблок оценивалось на соответствие требованиям ГОСТ 34314-2017 «Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия». Внешний вид, окраску кожицы, вкус, запах и состояние мякоти оценивали органолептическим методом. К показателям, определяющим степень зрелости, относится твердость мякоти, которую определяли с помощью пенетрометра FT-327. Естественная убыль определялась в соответствии с Приказом Минпромторга России от 01.03.2013 N 252 «Об утверждении норм естественной убыли продовольственных товаров в сфере торговли и общественного питания» для второй климатической зоны, в которую входит Свердловская область. Биохимические показатели в яблоках свежих были исследованы стандартными методами: массовую долю сахаров – перманганатным методом по ГОСТ 8756.13-87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров»; титруемую кислотность – потенциометрическим методом по ГОСТ 34127-2017 «Продукция соковая. Определение титруемой кислотности методом потенциометрического титрования»; содержание пектиновых веществ – фотометрическим методом по ГОСТ 32223-2013 «Продукция соковая. Определение

пектина фотометрическим методом»; содержание витамина С – вольтамперметрическим методом по ГОСТ Р 52690-2006 «Продукты пищевые. Вольтамперметрический метод определения массовой концентрации витамина С».

Исследования проводили в пятикратной повторности.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе проводили оценку степени зрелости яблок согласно ГОСТ 21819-88 «Яблоки свежие. Хранение в холодильных камерах» по окраске кожицы, степени побурения семян и гидролиза крахмала. При исследовании йодно-крахмальной пробы произошло окрашивание под кожицей яблок всех групп и отмечено незначительное потемнение некоторых участков мякоти, что позволяет установить о нахождении яблок перед закладкой на хранение в начальной фазе съемной зрелости. В процессе хранения яблоки свежие достигли потребительской степени зрелости: яблоки 1-й группы (контрольная) – через 5 мес, 2-й группы (опытная) – через 7 мес, 3-й группы (опытная) – через 6 мес, 4-й группы (опытная) – через 8 мес.

Качество яблок соответствовало требованиям ГОСТ 34314-2017: плоды чистые, без излишней влажности, запах и вкус – соответствующий помологическому сорту, мякоть – доброкачественная. При превышении сроков лежкости яблок выявлено появление плодов с незначительной морщинистостью кожицы, побурением сердечка и размягчением.

В процессе хранения при достижении потребительской степени зрелости происходит размягчение мякоти плода, что может быть обусловлено разрушением нерастворимых пектиновых веществ: при хранении в воздушной среде (1-я группа) после 5 мес хранения, при хранении в РГС (2-я группа) – после 7 мес хранения. Сразу после обработки ионизирующим излучением дозой 1 кГр твердость плода имеет значение меньше на 0,1 п., чем у плодов, необработанных ионизирующим излучением. Однако при хранении до 7 мес в плодах 3-й группы и до 8 мес в плодах 4-й группы плоды отличаются высокими показателями твердости – 8,4 и 8,5 п. соответственно (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение твердости мякоти яблок в процессе хранения, кг/см²

Группы	Продолжительность хранения, мес.				
	0	5	6	7	8
1-я	10,1	8,9	7,9	7,4	6,3
2-я	10,1	9,8	9,2	8,8	8,2
3-я	10,0	9,7	9,1	8,4	7,8
4-я	10,0	9,8	9,2	8,7	8,5

На рисунке 1 представлена динамика естественной убыли яблок свежих в процессе хранения. В зависимости от совокупности влияния факторов (условия хранения - воздушная среда и РГС; без обработки и с обработкой ионизирующим излучением перед закладкой на хранение) установлено, что естественные потери наиболее высокие в 1-й контрольной группе и при хранении до 5 мес соответствуют нормам есте-

ственной убыли согласно Приказа Минпромторга России от 01.03.2013 N 252, во 2-й опытной группе – при хранении до 7 мес (рис. 1). Полученные результаты сопоставимы с исследованиями [5]. В результате уменьшения содержания воды сразу после обработки ионизирующим излучением на 0,10-0,15% в 3-й и 4-й опытных группах по сравнению с плодами, необработанными ионизирующим излучением, в дальнейшем при хранении процесс транспирации замедляется по сравнению с полученными данными по 1-й и 2-й группам. Наиболее низкие естественные потери установлены в 4-й опытной группе при хранении до 8 мес за счет совокупного влияния ионизирующего излучения и РГС.

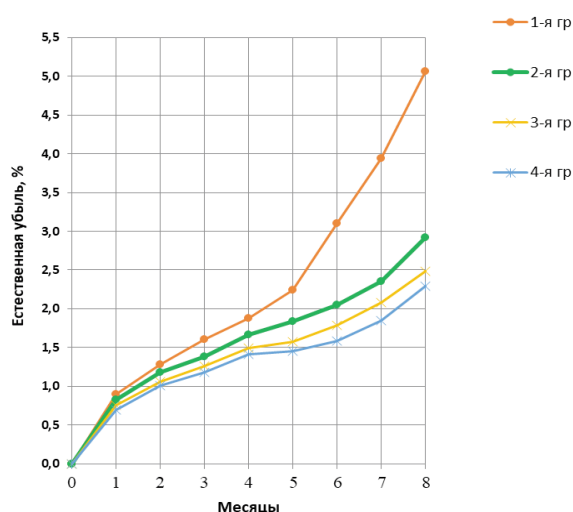


Рисунок 1 – Естественная убыль массы плодов свежих яблок при хранении до 8 мес, %

Анализ данных таблицы 2 показывает, что в процессе хранения происходит уменьшение массовой доли углеводов и титруемых кислот, что обусловлено расходом энергии на жизнедеятельность плодов и характеризует степень дозревания плодов: в 1-й контрольной группе уменьшается массовая доля углеводов на 0,44% и массовая доля титруемых кислот на 0,22%, во 2-й опытной группе – на 0,39% и 0,19% соответственно, в 3-й опытной группе – на 0,35% и 0,20%, в 4-й опытной группе – на 0,29% и 0,18%.

После обработки ионизирующим излучением в яблоках установлено незначительное снижение витамина С на 0,08 мг% по сравнению с необработанными плодами. Способ хранения яблок оказал существенное влияние на количественное изменение аскорбиновой кислоты. В яблоках, обработанных ионизирующим излучением на этапе его закладки на хранение и при последующем хранении в РГС витамин С сохранился лучше, что может быть обусловлено «адаптационной реакцией плодов в процессе хранения, выраженная в усилении биосинтеза антиоксиданта» [19].

Содержание пектиновых веществ в процессе хранения увеличивается за счет возможного перехода нерастворимых пектинов в растворимый, что приводит к размягчению плода. Через 8 мес хранения содержание пектина в плодах 1-й группы увеличивается

на 0,72% до 2,54%, во 2-й – на 0,38% до 2,20%. В 3-й и 4-й группах после воздействием ионизирующим излучением при закладке на хранение содержание пектиновых веществ больше на 0,04% по сравнению с образцами 1-й и 2-й групп. При хранении яблок, обработанных ионизирующим излучением, в РГС, наблюдается замедление роста количества пектиновых веществ на 0,04% по сравнению с образцами, обработанными ионизирующим излучением, но хранящихся в воздушной среде.

Таблица 2 – Исследование биохимических показателей яблок (M±m)

Показатели	Продолжительность хранения, мес.				
	0	5	6	7	8
1-я группа (контрольная)					
Массовая доля сахаров, %	9,81±0,11	9,74±0,10	9,42±0,05	9,39±0,12	9,37±0,09
Массовая доля титруемых кислот, %	0,78±0,01	0,74±0,01	0,64±0,01	0,60±0,01	0,56±0,01
Витамин С, мг %	10,13±0,12	7,59±0,08	7,09±0,08	6,53±0,06	6,01±0,07
Пектиновые вещества, %	1,82±0,03	1,94±0,03	2,06±0,04	2,26±0,02	2,54±0,02
2-я группа (опытная)					
Массовая доля сахаров, %	9,81±0,11	9,76±0,07	9,54±0,08	9,47±0,02	9,42±0,06
Массовая доля титруемых кислот, %	0,78±0,01	0,76±0,01	0,67±0,01	0,62±0,01	0,59±0,01
Витамин С, мг %	10,13±0,12	8,24±0,03	7,84±0,03	7,56±0,02	7,03±0,05
Пектиновые вещества, %	1,82±0,03	1,84±0,03	1,97±0,03	2,02±0,01	2,20±0,01
3-я группа (опытная)					
Массовая доля сахаров, %	9,85±0,06	9,80±0,03	9,59±0,03	9,54±0,02	9,50±0,06
Массовая доля титруемых кислот, %	0,76±0,01	0,74±0,01	0,64±0,01	0,60±0,01	0,56±0,01
Витамин С, мг %	10,05±0,06	8,01±0,05	7,39±0,03	7,02±0,03	6,82±0,04
Пектиновые вещества, %	1,86±0,03	1,89±0,03	1,99±0,03	2,06±0,01	2,31±0,01
4-я группа (опытная)					
Массовая доля сахаров, %	9,85±0,06	9,81±0,02	9,61±0,02	9,59±0,04	9,56±0,06
Массовая доля титруемых кислот, %	0,76±0,01	0,75±0,01	0,65±0,01	0,61±0,01	0,58±0,01
Витамин С, мг %	10,05±0,06	8,18±0,03	7,79±0,03	7,57±0,02	7,08±0,03
Пектиновые вещества, %	1,86±0,03	1,87±0,02	1,98±0,03	2,04±0,01	2,27±0,01

По результатам исследования микробиологической обсемененности установлено, что в контрольных образцах 1-й группы и опытных образцах 2-й группы

при хранении свыше 5 и 7 мес. микробиологические показатели превышают допустимые уровни согласно требований ТР ТС 021/2011: КМАФАнМ $5,6-5,8 \cdot 10^4$ КОЕ/г, дрожжи $2,2-2,8 \cdot 10^3$ КОЕ/г и плесени $5,6-6,2 \cdot 10^4$ КОЕ/г соответственно. После обработки ионизирующим излучением на этапе закладки плодов на хранение все исследуемые микробиологические показатели не превышают допустимых уровней при хранении до 8 мес.

Заключение. Согласно результатов проведенных исследований установлено, что на лежкоспособность свежих яблок помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» оказывают определенное влияние применяемые способы хранения. В промышленных условиях при хранении яблок в основном учитывают параметры воздушной среды: температуру и относительную влажность. Хранение в регулируемой газовой среде, при совместном воздействии температуры, относительной влажности и состава газовой среды приводит к снижению метаболической активности в яблоках и продлению периода хранения до 7 мес согласно ГОСТ Р 50421-92 (ИСО 6949-88). Проведенная на этапе закладки яблок на хранение обработка ионизирующим излучением дозой 1 кГр позволяет обеспечивать фитосанитарные меры и уменьшить микробиологическую обсемененность. Высокая эффективность предложенного комбинированного способа сохранения обработанных ионизирующим излучением яблок при последующем хранении в РГС определяется хорошей лежкоспособностью яблок потребительской степени зрелости до 8 мес хранения в результате соответствия микробиологических показателей допустимым уровням согласно ТР ТС 021/2011, замедления процесса транспирации, задержки процессов обмена с более низким снижением массовой доли углеводов и органических кислот – на 0,29% и 0,18% соответственно и высокой сохраняемостью витамина С – до 70,5% в процессе хранения по сравнению с яблоками, хранящимися в воздушной или регулируемой газовой среде или только после обработки ионизирующим излучением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кабалина, Д.В. Разработка технологии подготовки яблок к краткосрочному хранению и их хранение в условиях искусственного охлаждения / Д.В.Кабалина, Т.В.Першакова, В.В.Лисовой, В.А.Морарь // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2020. – № 63 (3). – С. 307-317.
2. Демидович, Е.И. Влияние предуборочных обработок на остаточный эффект хранения плодов яблок / Е.И.Демидович // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 124-128
3. Ващук, И.И. Влияние сроков съема на длительность хранения плодов яблоки / И.И.Ващук // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 6 (20). – С. 8-14.
4. Wallace, R.L. Mechanisms of action of three isolates of *Pseudomonas fluorescens* active against postharvest grey mold decay of apple during commercial storage / R.L.Wallace,

- D.L.Hirkala, L.M.Nelson // *Biological Control*. – 2018. – № 117. – P. 13-20.
5. Турбин, В.А. Уточнение технологических параметров длительного хранения яблок поздних сроков созревания / В.А.Турбин, Е.И.Черненко // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. – 2019. – № 18 (181). – С. 35-46.
6. Тимакова, Р.Т. Оценка антиоксидантной активности яблок свежих разных помолологических сортов после обработки ионизирующим излучением / Р.Т.Тимакова // *Вопросы питания*. – 2018. – Т. 87, № 3. – С. 66–71. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10033.
7. Макаркина, М.А. Влияние режимов хранения на качество яблок / М.А.Макаркина, А.Л.Никитин // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. – 2011. – № 7 (1). – С. 117-126.
8. Коротышева, Л.Б. Характеристика внутритканевого газового состава яблок и его изменение в процессе хранения / Л.Б. Коротышева, Т.В. Пилипенко, С.М. Малютенкова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 26-34.
9. Меделяева, А.Ю. Динамика изменения качества яблок при хранении в обычной атмосфере / А.Ю.Меделяева, Е.Ю. Салина // *Наука и Образование*. – 2019. – № 2. – С. 350.
10. Турбин, В.А. Сохраняемость яблок в разных газовых средах / В.А.Турбин, Р.Д.Бабина, Н.Н.Горб, А.Е.Унтилова // *Научные труды Крымского агротехнологического университета*. – 2004. – Вып. 83. – С. 116-122.
11. AIR products PLC, (1995). *The Freshline guide to modified atmosphere packaging (MAP)* // Air products Pic.-Basingstoke. Hampshire, UK, 1996. – P. 1–66.
12. Day, V.P.F. Novel MAP - A brand new approach / V.P.F. Day // *Fd. Manuf.*, 1998. – № 73 (11). – P. 24–26.
13. Назирова, Р.М. Изменение химического состава некоторых сортов яблок при хранении в регулируемой атмосфере (РА) / Р.М. Назирова, С.Ж. Абдурахмонов, Н.Б. Усмонов, Д. Бахтиярова // *Наука, техника и образование*. – 2019. – № 3 (56). – С. 24-27.
14. Рядинская, А.А. Снижение потерь плодов яблок при хранении в меловых штольнях города Белгорода / А.А.Рядинская, А.Н.Крюков // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. – 2016. – № 1 (9). – С. 79-84.
15. Костюк, В.А. Динамика суммы свободных органических кислот при холодильном хранении яблок осенних сортов с применением трековых мембран / В.А.Костюк, В.С.Колодязная // В сб.: *Неделя науки СПбПУ. Мат. научн. конф. с междунар.участием, Институт биомедицинских систем и биотехнологий. В 2 частях. СПбПУ, 2019.*– С. 71-73.
16. Юдин, И.В. Радиационные технологии, как ключевой элемент «сквозных» технологий / И.В. Юдин, А.А. Персинен, О.П. Никитин // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. – 2016. – № 36 (62). – С. 7-11.
17. Санжарова, Н.И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве: стратегия научно-технологического развития / Н.И.Санжарова, Г.В.Козьмин, В.С.Бондаренко // *Инноватика и экспертиза: научные труды*. – 2016. – № 1 (16). – С. 197-206.
18. Тимакова, Р.Т. Радиационные технологии – современный подход к обеспечению безопасности пищевых продуктов / Р.Т.Тимакова // В сб.: *Региональный рынок потребительских товаров и продовольственной безопасности в условиях Сибири и Арктики. Мат. VIII Междунар. научно-практ. конф. Тюмень: ТИУ, 2019.* – С. 75-80.
19. Ершов, Б.Г. Радиационные технологии: возможности, состояние и перспективы применения / Б.Г.Ершов // *Вестник Российской академии наук*. – 2013. – Т.83, № 10. – С. 885.
20. Чиж, Т.В. Радиационная обработка свежих овощей и фруктов – развитие технологии и применение / Т.В.Чиж, Н.Н.Лой, А.Н.Павлов // В сб.: *Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Мат. междунар. научно-практ. конф. Обнинск: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 2018.* – С. 242-246.
21. Гусев, А.В. Актуальные задачи при облучении свежей плодовоовощной продукции / А.В.Гусев, М.В.Петров // В сб.: *Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Мат. междунар. научно-практ. конф. Обнинск: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 2018.* – С. 184-187.
22. Moy, J.H. Radurization and radication: fruits and vegetables / Josephson E.S., Peterson M.S. eds. // *Preservation of food by ionizingradiation.*– 1983.–Vol. 3. CRC Press. Boca Ration, FL. – P. 83-108.
23. Romani, R. J. Radiobiological parameters in the irradiation of fruits and Vegetables / R.J.Romani // *Advances in food research*. – 1996. – Vol. 15. – P. 57–103.

Статья поступила в редакцию 31.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 664.765

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0017

**ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА БЕЛКОВ МУКИ
ИЗ ПОЛУОБЕЗЖИРЕННОГО КУКУРУЗНОГО ЗАРОДЫША**

© 2020

Чернова Елена Викторовна, доктор экономических наук, профессор,
профессор Высшей школы биотехнологий и пищевых производств**Баженова Ирина Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент,
доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств**Каплин Илья Денисович**, магистрант Высшей школы биотехнологий и пищевых производств**Матвеева Юлия Аникториевна**, аспирант Высшей школы биотехнологий и пищевых производств*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,**e-mail: chernova68@list.ru, irinabazhenova@mail.ru, krik324@yandex.ru, matveevajuliaa@mail.ru)*

Аннотация. Кукурузный жмых является побочным продуктом переработки зерна в кукурузное масло и представляет собой полуобезжиренный кукурузный зародыш, на долю которого приходится от 12% до 22% массы всего зерна. В США, Индии, Индонезии, Бразилии, Италии, Словении и других зарубежных странах в настоящее время проводятся работы по использованию кукурузного зародыша не только для кормления животных, но и создания продуктов питания. В Российской Федерации научно обоснованные исследования применения зародышевой муки из кукурузного шрота в производстве продуктов питания проводились в конце 70-х годов прошлого века, в то время как высокая пищевая и биологическая ценность данного сырья является предпосылкой его широкого использования. Кукурузный зародыш характеризуется высоким содержанием белка (от 12 до 26% на сухое вещество), содержит от 2,18% до 21,07% сырой клетчатки; от 7 до 55% сырого жира, характеризуется высоким содержанием минеральных веществ (8,42%), в том числе калия, магния, железа и цинка. В статье представлено исследование аминокислотного состава двух видов муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша, произведенных в Краснодарском крае. Исследованные образцы имели достаточно сбалансированный аминокислотный состав, не лимитированы по основной для злаковых культур аминокислоте – лизину. Обнаружено высокое содержание аргинина, лизина, аспарагиновой и глутаминовой кислот. Цистеин и метионин, которые являются для кукурузы лимитирующими аминокислотами, находятся в диапазоне 0,29-0,38 %. Все незаменимые аминокислоты, кроме триптофана, имеют значения скоры выше 100 %. По лимитирующим для кукурузы серосодержащим аминокислотам значение скоры равняется 114%. Следовательно, белок муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша имеет высокую биологическую ценность. Исследованная мука рекомендуется для использования в производстве мучных изделий, как в виде самостоятельного сырья, так и в качестве добавки к другим видам муки. При добавлении к безглютеновым видам муки (рисовой, кукурузной, овсяной) можно получать изделия высокой биологической ценности, пригодные для питания людей, больных глютеновой энтеропатией (целиакией).

Ключевые слова: мука из полуобезжиренного кукурузного зародыша, аминокислотный состав белков, биологическая ценность, глютеновая энтеропатия.

STUDY OF THE AMINO ACID COMPOSITION OF THE SEMI-SKIMMED CORN GERM

© 2020

Chernova Elena Viktorovna, doctor of economic sciences, professor,
professor of the Higher School of Biotechnology and Food Production**Bazhenova Irina Anatolyevna**, candidate of tech. sciences, associate professor,
associate professor of the Higher School of Biotechnology and Food Production**Kaplin Ilya Denisovich**, master of Higher School of Biotechnology and Food Production**Matveeva Yuliya Aniktorievna**, postgraduate student, Higher School of Biotechnology and Food Production*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya, 29,**e-mail: chernova68@list.ru, irinabazhenova@mail.ru, krik324@yandex.ru, matveevajuliaa@mail.ru)*

Abstract. Corn cake is a by-product of the processing of corn into corn oil. It is a semi-skimmed corn germ, which accounts for 12 - 22% of the total grain weight. Currently, in the USA, India, Indonesia, Brazil, Italy, Slovenia and other foreign countries, work is being carried out on the use of corn germ not only for feeding animals, but also for creating food products. In the Russian Federation, scientifically substantiated studies of the use of seed meal from corn meal in food production were carried out in the late 70s of the last century, while the high nutritional and biological value of this raw material is the reason for its widespread use. Corn germ is characterized by a high protein content (from 12 to 26% on dry matter), contains from 2.18 to 21.07% of crude fiber; from 7 to 55% crude fat, characterized by a high content of minerals (8.42%), including potassium, magnesium, iron and zinc. The article presents a study of the amino acid composition of two types of flour from semi-skimmed corn germ, produced in the Krasnodar region. The studied

samples had a fairly balanced amino acid composition and were not limited in terms of the main amino acid for cereals - lysine. A high content of arginine, lysine, aspartic and glutamic acids was found. Cysteine and methionine, which are limiting amino acids for corn, are in the range of 0.29-0.38%. All essential amino acids, except tryptophan, have a scorched value above 100%. For the sulfur-containing amino acids limiting for corn, the rate is equal to 114%. Consequently, the protein from semi-skimmed corn germ flour has a high biological value. The tested flour is recommended for use in the production of flour products, both as an independent raw material and as an additive to other types of flour. When added to gluten-free types of flour (rice, corn, oatmeal), products of high biological value can be obtained, suitable for feeding people with gluten enteropathy (celiac disease).

Keywords: semi-skimmed corn germ flour, amino acid composition, biological value, gluten enteropathy.

Введение. В последние годы большое значение уделяется производству продуктов питания из побочных продуктов переработки зерновых культур. Одним из них является кукурузный жмых, который получают после отжима масла из кукурузного зерна [1]. Он представляет собой полубезжиренный кукурузный зародыш, характеризуется высокой пищевой и биологической ценностью и может быть использован как источник основных нутриентов в питании человека.

В Российской Федерации и странах постсоветского пространства исследование кукурузного зародыша как пищевого сырья проводилось в 70-е годы XX в. [2]. Другие работы посвящены использованию данного вида сырья в качестве кормовых добавок [3, 4] и получению биологически активных веществ [5]. В зарубежных странах (США, Индии, Индонезии, Бразилии, Италии, Словении и др.) в настоящее время достаточно активно проводится исследование кукурузного зародыша как добавки к кормам для животных, а также разрабатываются различные виды пищевых продуктов для использования в питании человека.

На долю кукурузного зародыша приходится от 12 [6] до 22% [7] массы всего зерна. Данные по химическому составу кукурузного зародыша разных авторов имеют широкий разброс. Это связано с сортовыми особенностями, климатическими условиями, агротехническими приемами возделывания культур, а также от метода извлечения масла [7]. Химический состав кукурузного жмыха характеризуется высоким содержанием белка: от 12 до 26% на сухое вещество [2, 8]. Кукурузный зародыш может содержать от 2,18 [9] до 21,07% [10] сырой клетчатки; от 7 до 55% сырого жира [11]. *Barbieri R, Casiraghi E.M.* отмечают высокое содержание минеральных веществ (8,42%), в том числе калия, магния, железа и цинка [12]. В таблице 1 представлен химический состав кукурузного зародыша (по данным *Habagonde S.* [13, С. 39]).

Таблица 1 – Химический состав кукурузного зародыша

Показатель	Содержание, % на сухое вещество
Влага	8,42
Сырой протеин	22,19
Сырая клетчатка	22,69
Зола	1,72
Безазотистые экстрактивные вещества	57,22

В большой степени пищевая и биологическая ценность сырья и продуктов определяется количеством и качеством белка. В кукурузном зародыше белки в

основном представлены альбуминами и глобулинами [14, 15]. В них не обнаружен дефицит лизина и лейцина, но есть недостаток триптофана [7]. Избыточная термическая обработка во время экстракции масла может привести к снижению усвояемости белка и некоторых термолабильных аминокислот, особенно лизина.

В таблице 2 представлены данные по исследованиям аминокислотного состава белка кукурузного зародыша.

Таблица 2 – Аминокислотный состав кукурузного зародыша

Аминокислота	Количество, мг/г белка					
	Lin C.S., Zayas J.F., 1987 [16]	Ambika R. etc., 2012 [6]	Barbieri R, Casiraghi E.M., 1983 [12]	Masoumikhah Z, Zargari K., 2013 [17]	Rush-ton D.H., 2002 [18]	Поло-тон бел Л., 2011 [3]
Аргинин	95	160	130	155	-	57
Гистидин	-	-	70	64	34.3	57
Изолейцин	26	26	70	84	36.1	72
Лейцин	-	103	180	186	75	130
Лизин	-	120	94	94	57	-
Метионин	26	16	60	40	31	68
Фенилаланин	-	40	90	104	70	67
Треонин	-	-	110	83	47	84
Триптофан	43	21	20	70	20	13
Валин	43	30	69	53	57	65
Аланин	70	55	140	138	70	117
Аспаргиновая кислота	-	40	140	168	91	-
Цистеин	16	11	40	33	-	-
Глутаминовая кислота	61	118	320	284	141	228
Глицин	61	-	110	123	62	94
Пролин	45	59	130	109	83	71
Серин	56	-	100	80	48	-
Тирозин	43	31	70	70	-	64

В основе определения аминокислотного состава лежит гидролиз белков с дальнейшим определением индивидуальных аминокислот с помощью газо-жидкостной хроматографии. Для гидролиза используют различные реагенты. В большинстве исследований образцы гидролизуют кислотой, за исключением триптофана, который выделяют при щелочном гидролизе. В работах *Lin C.S., Zayas J.F.* (1987) и *Ambika R. etc* (2012) обезжиренный белок зародышей кукурузы, полученный путем экстракции гексаном, гидролизуют п-толуолсульфоновой кислотой при 100 °С в течение 31 часа. Высокая биологическая ценность обезжиренного кукурузного зародыша проявляется в значительном содержании лизина (5,38-5,88 г на 100 г белка) по

сравнению с уровнем лизина в кукурузном зерне (2,8 г лизина на 100 г белка). Наряду с этим отмечается недостаток триптофана.

Как видно из таблицы 2 некоторые показатели имеют большие расхождения. Это связано с сортом культуры, регионом ее выращивания и природными особенностям той или иной страны.

Биологическая ценность белков круп определяет степень их усвоения и аминокислотным составом [19]. Кукурузный зародыш богат содержанием как заменимых, так и незаменимых аминокислот, что делает его крайне полезным сырьем для производства различных изделий и использования в питании человека [20, 21]. Ни один белок в составе кукурузного зародыша не может формировать глютен в продукте, поэтому его можно применять в питании людей больных целиакией. Крайне важным свойством является то, что аминокислотный состав при переработке основного сырья не ухудшается, что делает возможным использование данного вторичного сырья в производстве продукции питания.

Целью исследования является проведение исследования аминокислотного состава белков муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша и разработка рекомендаций по ее использованию в питании человека.

Материалы и результаты исследования. В испытательном центре ФГБНУ ВНИИП были проведены исследования двух видов муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша. Представленные ООО «Радуга» (Российская Федерация, Краснодарский край) образцы соответствовали техническим условиям на данный вид сырья [22]: цвет – серовато-коричневый, запах свойственный данному виду муки, вкус – без привкусов горечи, кисловатого и других посторонних привкусов, консистенция – без посторонних включений. Определение аминокислотного состава проводили по М-04-38-2009 «Корма, комбикорма и сырье для их производства. Методика измерений массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза Капель». Измерения проводились при длине волны 254 нм, температуре 30 °С. Ввод пробы: давление – 30 мбар, время ввода – 5 с, напряжение – 25 кВт. Результаты представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что полуобезжиренная мука кукурузного зародыша содержит значительное количество аргинина, лизина, аспарагиновой и глутаминовой кислот. Цистин и метионин, которые являются для кукурузы лимитирующими аминокислотами, находятся в диапазонах 0,40-0,42 и 0,33-0,34% соответственно. В средних значениях, как и в пшенице, находятся аланин и валин. Содержание изолейцина и лейцина, играющих важную роль в метаболизме и в синтезе белков, близко к оптимальным суточным потребностям. Серин и фенилаланин содержатся в незначительных количествах. При сравнении показателей аминокислотного состава, приведенных в работе иностранных исследователей, было выявлено значи-

тельное различие в количествах метионина и лизина. В муке кукурузного зародыша из Краснодарского края данные аминокислоты имеют высокий процент содержания в белке. Триптофан же имеет во всех исследованиях крайне малые значения. Валин и аланин во всех сортах кукурузы имеют приблизительно одинаковые показатели. Большие различия в содержании других аминокислот связаны с сортом выращиваемой кукурузы, с особенностями местности и агротехнологии, температурным режимом.

Таблица 3 – Аминокислотный состав белков муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша

Аминокислота	Количество, % от 100 г	
	мука из кукурузного жмыха «Белореченская»	мука из кукурузного жмыха «Северская»
Аланин	1,48±0,38	0,56±0,15
Аргинин	1,85±0,74	2,00±0,80
Аспарагиновая кислота	1,14±0,46	1,26±0,51
Валин	1,08±0,37	1,17±0,40
Гистидин	0,68±0,34	0,70±0,35
Глицин	1,34±0,45	1,46±0,50
Глутаминовая кислота	1,77±0,71	2,13±0,85
Лейцин+ изолейцин	2,07±0,54	2,32±0,60
Лизин	1,31±0,45	1,38±0,47
Метионин	0,33±0,13	0,34±0,14
Пролин	1,52±0,40	1,71±0,44
Серин	1,20±0,31	1,30±0,34
Тирозин	0,62±0,19	0,68±0,20
Треонин	0,92±0,37	0,92±0,37
Фенилаланин	0,80±0,24	0,91±0,27
Цистин	0,40±0,20	0,42±0,21

Для определения биологической ценности был рассчитан аминокислотный скор наиболее важных аминокислот для человеческого организма: валина, лейцина, лизина, триптофана, изолейцина, метионина, треонина и фенилаланина (табл. 4).

Таблица 4 – Скоры незаменимых аминокислот белка кукурузного зародыша

Аминокислота	Аминокислотный скор, %
Валин	106
Лейцин	107
Лизин	188
Триптофан	94
Изолейцин	160
Метионин и цистин	114
Треонин	207
Фенилаланин и тирозин	173

Все незаменимые аминокислоты, кроме триптофана, имеют значения скоры выше 100%. По лимитирующим для кукурузы серосодержащим аминокислотам значение скоры равняется 114%. Следовательно, белок муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша имеет высокую биологическую ценность. Исследо-

емая мука рекомендуется для использования в производстве мучных изделий, как самостоятельное сырье, так и в виде добавки к другим видам муки. При добавлении к безглютеновым видам муки (рисовая, кукурузная, овсяная) можно получать изделия высокой биологической ценности, пригодные для питания больных целиакией.

Заключение. Проведенное исследование аминокислотного состава муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша показало, что она имеет достаточно сбалансированный аминокислотный состав, не лимитирована по основной для злаковых культур аминокислоте – лизину. Мука может применяться для производства мучных изделий из теста, не требующего хорошего качества клейковины (песочного, вафельного) или для частичной замены пшеничной муки в традиционных рецептурах. Так как белок кукурузного зародыша не содержит глютен, то использование данного сырья перспективно для производства продуктов для людей с глютеновой энтеропатией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Нюдлеева И.А., Чернова Е.В., Матвеева Ю.А. Химический состав кукурузного жмыха и перспективы его использования в мучных кондитерских изделиях функционального назначения // Global science. Development and novelty. Collection of scientific papers, on materials of the IV international scientific-practical conference 25.12.2017 Ed. SPC «LJournal», 2017. – P. 36-39.
2. Кулакова Е.В. Использование зародышевой муки из кукурузного шрота для обогащения молдавских национальных блюд: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 1978. 23 с.
3. Подобед Л. Питательная ценность жмыха из зародыша кукурузы // Комбикорма. 2011. № 5. С. 57-58.
4. Бондаренко Е.М. Продуктивные качества и состояние обмена веществ у бройлеров при использовании кукурузного зародыша и жмыха: диссертация ... канд. биол. наук. Рязань. 2002. 106 с.
5. Шаззо А.А. Разработка технологии переработки зародышей зерна кукурузы и изучение потребительских свойств получаемых продуктов и БАД: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар. 2011. 28 с.
6. Ambika Rajendran R., Nirupma Singh, Vinay Mahajan, D.P. Chaudhary, Sapna, Kumar R.S. Corn Oil: An emerging industrial product. 2012. Directorate of Maize Research, New Delhi, Technical Bulletin, No. 8. 36 p.
7. Казаков Е. Д., Кретович В. Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Агропромиздат, 1989. 368 с.
8. Gupta H.O., Eggum B.O. Processing of maize germ oil cake into edible food grade meal and evaluation of its protein quality. Plant Foods Human Nutrition. 1998. V. 52. P. 1-8.
9. Ramos L.N., Teixeira L.A., Rostango H.S. etc. Metabolizable energy values of feedstuffs to broilers. Brazilian Journal of Animal Science. 2007. V. 36 (5). P. 1354-1358.
10. Sowjanya Lakshmi R. K., Nagaraja Kumari K. and Ravikanth Redd P. Corn Germ Meal (CGM) – Potential Feed Ingredient for Livestock and Poultry in India. A Review. International Journal of Livestock Research. 2017. V. 7 (8). P. 38-50.
11. Гольдштейн В.Г., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Чернова Т.А. О качестве кукурузного зародыша влажного способа отделения // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29, № 12. С. 119-120.
12. Barbieri R, Casiraghi E.M. Production of a food grade flour from defatted corn germ meal. Food Science and Technology. 1983. V. 18 P. 35-41.
13. Habagond S. Effect of Feeding Corn (Zea Mays) Germ Meal in Rab-bits. M.V.Sc. thesis, 2013. P.120-121.
14. Матвеева Ю.А., Чернова Е.В., Баженова И.А. и др. Исследование фракционного состава белков кукурузного жмыха // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2019. № 2 (46). С. 140-144.
15. Siddiq M., Nasir M., Ravi R., Dolan K.D. etc. Effect of defatted maize germ addition on the functional and textural properties of wheat flour. International Journal of Food Properties. 2016. V. 12 P. 147.
16. Lin C.S., Zayas J.F. Influence of corn germ protein on yield and quality characteristics of comminuted meat products in a model system. J. Food Sci. 1987. V. 52 (3). P. 545-548.
17. Masoumikhah Z., Zargari K. Effects of additional low fat corn germ flour on rheological properties and sensory of macaroni. Annals of Biological Research, 2013. V. 4 (10). P. 61-66.
18. Rushton D.H. Nutritional factors. Clinical and Experimental. 2002. V. 27 (5). P. 396-404.
19. Чернова Е.В. Новый метод оценки биологической ценности белков кулинарно обработанных круп // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2001. № 1 (260). С. 11-13.
20. Albuquerque C.S., Rabello C.B., Santos M.J.B. etc Chemical composition and metabolizable energy values of corn germ meal obtained by wet milling for layers. Brazilian Journal of Poultry Science. 2014. V. 16 (1). P. 107-112.
21. Zayas J.F., Lin C.S. Frankfurters supplemented with corn germ protein: Sensory characteristics, proximate analysis and amino acid composition. Journal of Food Quality. 2007. V. 11 (6). P. 461-474.
22. ТУ 9293-008-55104471-15 Мука полуобезжиренная. Разработаны ООО ПФ «Радуга». – Ст. Северская, 2015. – 8 с.

Статья поступила в редакцию 02.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 647.181

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0018

**ВЛИЯНИЕ СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА
РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ**

©2020

Нилова Людмила Павловна, кандидат технических наук, доцент Высшей школы сервиса и торговли
Малютенкова Светлана Михайловна, кандидат технических наук,
доцент Высшей школы сервиса и торговли
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(194064, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,
e-mails: nilova_l_p@mail.ru, malutesha66@mail.ru)

Аннотация. В последнее время на российском потребительском рынке появились напитки из растительно-го сырья, позиционирующее себя как заменители коровьего молока или «растительное молоко», целевая аудитория которых не ограничивается вегетарианцами и людьми, страдающими лактазной недостаточностью и непереносимостью молока. В работе приведены результаты исследований качества и антиоксидантных свойств растительных напитков на примере соевых, овсяных и миндальных отечественного и зарубежного производства, реализуемых на потребительском рынке г. Санкт-Петербурга. Показатели качества растительных напитков определяли стандартными методами, вязкость методом камертонной вибрации на вибрационном вискозиметре SV-100, антиоксидантную активность кулонометрическим методом на анализаторе «Эксперт-006». Количество и вид растительной основы повлияли на содержание белков и углеводов в растительных напитках, регулирование массовой доли жира осуществлялось за счет использования внесенных компонентов – растительного масла или семян подсолнечника. Увеличение количества экстрактивных сухих веществ в напитках приводило к повышению вязкости, но не оказывало влияние на титруемую кислотность. Все растительные напитки обладали антиоксидантной активностью, изменяющейся в зависимости от использованного растительного сырья: миндальный > соевый > овсяный. Использование цельного зерна вместо муки при получении растительной основы напитка повышает его антиоксидантную активность.

Ключевые слова: растительные напитки, состав, качество, органолептические показатели, физико-химические показатели, антиоксидантная активность.

**INFLUENCE OF RAW MATERIALS ON THE QUALITY AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF
PLANT-BASED DRINKS**

©2020

Nilova Liudmila Pavlovna, PhD of Engineering, associate Professor at the higher school of Service and Trade
Maluyutenkova Svetlana Michailovna, PhD of Engineering,
associate Professor at the higher school of Service and Trade
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(194021, Russia, Saint-Petersburg, Polytechnic Street, 29, e-mails: nilova_l_p@mail.ru, malutesha66@mail.ru)

Abstract. Recently, plant-based drinks have appeared- on the Russian consumer market, positioning themselves as substitutes for cow's milk or "plant milk", whose target audience is not limited to vegetarians and people suffering from lactase deficiency and milk intolerance. The paper presents the results of studies of the quality and antioxidant properties of herbal drinks on the example of soy, oat and almond domestic and foreign production, sold on the consumer market in St. Petersburg. The quality indices of herbal drinks were determined by standard methods, the viscosity by the tuning fork vibration method on the SV-100 vibrating viscometer, the antioxidant activity by the coulometric method on the Expert-006 analyzer. The amount and type of the plant base influenced the content of proteins and carbohydrates in plant drinks; the regulation of the mass fraction of fat was carried out with introduced components - vegetable oil or sunflower seeds. An increase for solids in beverages led to an increase in viscosity, but did not affect the titratable acidity. All herbal drinks had antioxidant activity, which varies depending on the plant materials used: almond > soy > oat. The use of whole grains instead of flour when making the plant base of the drink increases its antioxidant activity.

Keywords: plant-based drinks, composition, quality, organoleptic indicators, physical and chemical indicators, antioxidant activity.

Введение. Качество жизни напрямую зависит от качества питания, которое в совокупности с основными составляющими здорового образа жизни, способствует активному долголетию. Одним из направлений развития пищевой промышленности является производство пищевых продуктов с антиоксидантными свойствами, способствующих поддержанию баланса прооксидантно-антиоксидантной системы человека

и профилактике различных заболеваний. Основными источниками природных антиоксидантов являются свежие плоды и овощи, и продукты их переработки. В последнее время на российском потребительском рынке появились напитки из растительного сырья, позиционирующее себя как заменители коровьего молока или «растительное молоко», целевая аудитория которых не ограничивается вегетарианцами и людьми,

страдающими лактазной недостаточностью и не переносимостью молока. Они рекомендованы для любой категории потребителей. Альтернативные животному молоку растительные напитки рассматривают как источники растительного белка, витаминов и минеральных веществ, но они могут являться источниками антиоксидантов в питании человека.

Растительные напитки или растительные заменители коровьего молока представляют собой водорастворимые экстракты бобовых, злаковых или псевдозлаковых, масличных культур, орехов, которые по внешнему виду напоминают животное молоко. Родоначальником растительного молока было соевое молоко, использование для производства, которого, соевых бобов было связано с высоким содержанием белков и близостью их состава к коровьему молоку [1, 2]. Но низкое содержание белков в самом готовом напитке – «растительном молоке» [3], привело к отсутствию необходимости использования высокобелкового растительного сырья в его производстве. Оказало также влияние низкие биодоступность компонентного состава и органолептические свойства. Усвояемость минеральных веществ соевого молока ниже на 30%, чем в коровьем молоке [4]. Растительное сырье, используемое для производства «растительного молока», отличается не только общим содержанием белка, но и его фракционным составом. В бобовых, масличных и орехоплодных культурах преобладают альбумины и глобулины, а в зерновых и псевдозерновых – глютелины и проламины, что приводит к необходимости корректировки технологического процесса производства «растительного молока» [3, 5].

В настоящее время в производство запущены различные виды «растительного молока» на основе: бобовых (соя, горох, нут), злаковых (овес, рис, полба), псевдозлаковых (киноа), масличных (конопля, лен) орехоплодных (миндаль, фундук, кешью, грецкий орех, кокос, кедровый орех) культур [3, 6, 7]. Развитие ассортимента «растительного молока» предполагает поиск новых ранее неиспользованных видов растительного сырья или их комбинаций. В стадии разработки находится «растительное молоко» на основе чечевицы [8], тигрового ореха (земляной миндаль или чуфа) [9], арахиса [10], кунжута [11]. В качестве комбинаций различного растительного сырья используют соя / кукуруза [12], нут / кокос [13], соя / грецкий орех [14] и др. Самое главное добиться высоких органолептических свойств «растительного молока», чтобы завоевать доверие потребителей [7, 15]. Поэтому в состав вводят дополнительные компоненты – растительные масла (регулирование массовой доли жира) с эмульгаторами, стабилизаторы, в основном камеди (формирование консистенции), регуляторы кислотности и ароматизаторы.

Сохранение антиоксидантов исходного растительного сырья в готовом «растительном молоке» зависит от правильно подобранной технологии производства. Для «растительного молока» существует множество технологий, только *Ayudar* с соавторами [5] приводит

12 технологий. Основными этапами являются мокрый помол, фильтрация, добавление ингредиентов, стерилизация, гомогенизация, асептическая упаковка. Потеря антиоксидантов может произойти на стадиях измельчения сырья при длительном контакте с воздухом, гомогенизации и термической обработке [16, 17]. Использование для увеличения выхода экстрактивных веществ и обеспечения однородности гранулометрического состава ультразвуковой кавитации, сверхвысокого давления или их сочетания будет способствовать большему переходу антиоксидантов фенольной природы в «растительное молоко» [3, 18, 19]. Дальнейшая ферментация «растительного молока» как основы или рецептурного компонента ферментированных продуктов может привести как к увеличению, так и снижению антиоксидантных свойств продукции [16, 17].

Цель исследования – исследование качества и антиоксидантных свойств растительных напитков, изготовленного на основе разного растительного сырья.

Материалы и методы исследования. Объектами исследований служили образцы растительных напитков, изготовленные на различной растительной основе – сои, овса и миндаля, которые были приобретены в розничной торговле г. Санкт-Петербурга. Растительные напитки были выбраны по два образца отечественного и зарубежного производства из каждой группы растительного сырья. Растительные напитки на основе сои: «*Bite*», Россия, ООО «БиоФудЛаб»; «*Alpro*», Бельгия; на основе овса: «*Ne Moloko*», Россия, ОАО «Сады Придонья»; «*JOYA Organic Oat*», Австрия; на основе миндаля: «*Bite*», Россия, ООО «БиоФудЛаб»; «*137 Degrees*», Тайланд.

Оценку качества проводили по составу заявленных ингредиентов, информации о пищевой ценности в маркировке; органолептическим и физико-химическим показателям. Сухие вещества определяли рефрактометрически по ГОСТ 6687.2-90, титруемую кислотность по ГОСТ 6687.4-86. Определение вязкости осуществляли методом камертонной вибрации на вибрационном вискозиметре *SV-100*. Определение антиоксидантной активности проводили кулонометрическим методом на анализаторе «Эксперт-006». Время достижения конечной точки титрования, полученной на анализаторе, позволило рассчитать количество электричества в кулонах, затрачиваемое на 100 см³ исследуемой пробы. Калибровочную кривую строили по аскорбиновой кислоте, что позволило выразить полученные значения антиоксидантной активности в пересчете на аскорбиновую кислоту (АК). Измерения проводили в трехкратной повторности.

Результаты исследования. Напитки были изготовлены на основе растительного сырья, название которого заявленное в маркировке соответствовало наименованию напитка (табл. 1). Количество использованного основного растительного сырья, которое было указано в маркировке за исключением овсяного напитка «*Ne Moloko*», оказывало влияние на заявленное содержание белка, возрастающее при увеличении

количества. В целом в исследованных напитках количество белка варьировало от 0,7 до 3,6% с максимальным содержанием в соевых напитках. Количество углеводов зависело от вида растительного сырья и технологии получения напитка [5]. Овсяные напитки характеризовались самым высоким содержанием углеводов. Регулирование массовой доли жира напитков осуществлялось за счет использования привнесенных жиров, в большей степени за счет растительного масла (рапсовое или подсолнечное) или семян подсолнечника. При производстве соевых напитков отсутствует необходимость регулирования массовой доли жира за счет привнесенных жиров, т.к. соевые бобы содержат его до 20%. Несмотря на высокое содержание жиров в сладком миндале (53-60%) из-за его высокой стоимости для регулирования массовой доли жира в напит-

ках миндальных использовали подсолнечное масло или семена подсолнечника. Использование пищевых добавок в некоторых напитках – соевом «Alpro», овсяном «Ne Moloko» и миндальном «Bite» связано, прежде всего, с регулированием их консистенции за счет стабилизаторов структуры. Потребительскую ценность напитков повышало использование в их составе витаминов. Не установлено общей закономерности в обогащении витаминами, связанной с потерями при производстве. В соевых напитках только напиток «Alpro» бельгийского производства был обогащен витаминами (B2, B12, D2), в овсяных – напиток «Ne Moloko» отечественного производства обогащен витамином B2, а в миндальных – отечественный напиток «Bite» обогащен комплексом жирорастворимых витаминов (E, A, D).

Таблица 1 – Состав ингредиентов и питательных веществ в образцах растительных напитков, заявленных в маркировке

Наименование	Состав основных ингредиентов			Питательные вещества, г / 100 мл		
	основное сырье	дополнительное сырье	пищевые добавки	белки	жиры	углеводы
Напиток соевый						
«Bite», Россия	соевые бобы (13,5%)	-	-	3,6	1,8	1,0
«Alpro», Бельгия	соевые бобы (8%)	-	о-фосфат калия, карбонат кальция, геллановая камедь, ароматизатор	3,0	1,8	2,3
Напиток овсяный						
«Ne Moloko», Россия	овсяная мука	рапсовое масло	карбонат кальция, фосфат кальция, фосфат калия	1,0	3,2	6,5
«JOYA Organic Oat», Австрия	цельнозерновой овес (11,5%)	подсолнечное масло	-	0,7	0,8	7,7
Напиток миндальный						
«Bite», Россия	миндаль (2,75%)	подсолнечное масло	карбонат кальция, геллановая камедь, лецитин	0,7	2,2	0,2
«137 Degrees», Тайланд	миндальные орехи (13%),	семена подсолнечника (5%)	-	1,2	2,9	1,2

По внешнему виду и цвету все растительные напитки напоминали животное питьевое молоко, цвет был приближен к белому, но невыраженный, который можно было охарактеризовать как «тусклый» или «серовато-белый». Наиболее приближенный по цвету к питьевому молоку был соевый напиток «Bite». Овсяные напитки независимо от производителя имели осадок, и рекомендацию на упаковке о взбалтывании перед употреблением. Остальные напитки осадка не имели, но почти не различались консистенцией. В большей степени напитки различались по вкусу в зависимости от используемой растительной основы. Соевые напитки имели выраженный вкус соевых бобов; овсяные – выраженный овсяный. В овсяном напитке «Ne Moloko» дополнительно присутствовал слегка сладковатый оттенок. В миндальных напитках вкус миндаля был почти не выражен, а в напитке «137 Degrees» дополнялся привкусом подсолнечника.

Количество экстрактивных сухих веществ в напитках варьировало от 1,76 до 3,70% (табл.2). Самым высоким их содержанием характеризовались овсяные

напитки. В этой группе напитков разница в содержании экстрактивных сухих веществ составляла 12% с преобладанием в соевом напитке «Ne Moloko» за счет использования в качестве растительной основы овсяной муки. Количество экстрактивных сухих веществ оказало влияние на вязкость напитков. Чем больше в напитках было экстрактивных сухих веществ, тем выше были значения вязкости. Хотя в целом вариация показателя вязкости составила всего лишь 38,6% между минимальным и максимальным значениями. Практически внутри каждой группы напитков значения вязкости варьировали таким же образом. Но нельзя однозначно говорить о зависимости вязкости от количества экстрактивных сухих веществ, т.к. изменение значений вязкости могли быть обусловлены использованием стабилизаторов, обладающих высокой водопоглощательной способностью при минимальных количествах. Такая закономерность подтверждается в соевых напитках. В напитке «Alpro» с использованием геллановой камеди значения вязкости были в 1,55 раза выше, чем в напитке «Bite» без стабилизаторов. В то

же время в овсяных и миндальных напитках эта закономерность отсутствует.

Таблица 2 – Физико-химические показатели качества и антиоксидантная активность растительных напитков

Наименование	Экстрактивные сухие вещества, %	Титруемая кислотность, град.	Вязкость, мПа·с	Антиоксидантная активность, мг/100 мл
Напиток соевый				
«Bite», Россия	2,00 ± 0,10	4,9 ± 0,2	2,49 ± 0,02	107,5 ± 4,2
«Alpro», Бельгия	2,64 ± 0,10	6,7 ± 0,2	3,86 ± 0,02	93,6 ± 4,0
Напиток овсяный				
«Ne Moloko», Россия	3,70 ± 0,10	2,1 ± 0,1	3,73 ± 0,02	63,6 ± 3,0
«JOYA Organic Oat», Австрия	3,10 ± 0,10	3,6 ± 0,1	2,57 ± 0,02	71,8 ± 3,2
Напиток миндальный				
«Bite», Россия	1,76 ± 0,10	1,4 ± 0,1	2,37 ± 0,03	109,8 ± 4,0
«137 Degrees», Таиланд	2,44 ± 0,10	1,9 ± 0,1	3,85 ± 0,04	126,7 ± 4,9

Растительная основа оказала влияние на титруемую кислотность напитков, которая имела ряд: соевый > овсяный > миндальный. Внутри групп напитков значения кислотности различались в 1,4 раза для соевого, 1,7 раза для овсяных, 1,36 для миндальных. Титруемая кислотность готовых напитков зависит от качества исходного сырья, присутствия в нем органических кислот и от активности ферментов. Высокая ферментативная активность соевых бобов, активизирующаяся при их измельчении, способствовала повышению кислотности готового напитка. Не исключено влияние пищевых добавок, регуляторов кислотности в составе соевого напитка. Так, напиток «Alpro», содержащий орто-фосфат калия, отличается высокими значениями кислотности по сравнению с напитком «Bite» без их использования. Использование цельнозернового овса может способствовать переходу в водный экстракт, водорастворимых белков, органических кислот, свободных жирных кислот, что в целом повысило кислотность овсяного напитка «JOYA Organic Oat» по сравнению с напитком «Ne Moloko» с регуляторами кислотности в составе.

Все растительные напитки обладали антиоксидантной активностью в пределах от 63,6 до 126,7 мг АК / 100 мл, которая изменялась от использованного растительного сырья. В зависимости от полученных значений антиоксидантной активности получился ряд напитков: миндальный > соевый > овсяный. Кроме вида сырьевой основы на антиоксидантную активность оказало влияние количество растительного сырья. Чем больше было заявленное количество растительной основы, тем выше были значения антиоксидантной активности для любой группы напитков. Использование для экстракции цельного овса с пере-

ходом в экстракт антиоксидантов фенольной природы, содержащихся в периферийных частях зерна, привело к увеличению значений антиоксидантной активности овсяного напитка «JOYA Organic Oat» на 12,9% по сравнению с овсяным напитком «Ne Moloko», выработанного из овсяной муки.

Закключение. Растительные напитки, позиционирующие себя как заменители животного молока, имеют органолептические показатели, приближенные к животному молоку с менее выраженным цветом и вкусом, характерным для растительной основы. Осадок характерен только для овсяных напитков. Количество и вид растительной основы влияют на содержание белков и углеводов в растительных напитках, регулирование массовой доли жира осуществлялось за счет использования внесенных компонентов – растительного масла или семян подсолнечника. Установлены различия в содержании экстрактивных сухих веществ в напитках, что повышает их вязкость, но не оказывает влияние на титруемую кислотность. Все растительные напитки обладали антиоксидантной активностью, изменяющейся в зависимости от использованного растительного сырья: миндальный > соевый > овсяный. Использование цельного зерна вместо муки при получении растительной основы напитка повышает его антиоксидантную активность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Capriotti A.L., Caruso G., Cavaliere Ch., Samperi R., Ventura S., Zenezini R., Laganà Ch.A. Identification of potential bioactive peptides generated by simulated gastrointestinal digestion of soybean seeds and soymilk proteins // Journal of Food Composition and Analysis. 2015. V. 44. P. 205–213.
- Montowska M., Fornal E. Detection of peptide markers of soy, milk and egg white allergenic proteins in poultry products by LC-Q-TOF-MS/MS // LWT. 2018. V. 87. P. 310–317.
- Егорова Е.Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий // Ползуновский вестник. 2018. № 3. С. 25–34.
- Sanches V.L., Peixoto R.R.A., Cadore C. Phosphorus and zinc are less bioaccessible in soy-based beverages in comparison to bovine milk // Journal of Functional Foods. 2020. V. 65. 103728.
- Aydar E.F., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects // Journal of Functional Foods. 2020. № 70. 103975.
- Пушкина П.И., Нилова Л.П. Сравнительный анализ ассортимента растительных напитков, реализуемых через интернет-магазины Санкт-Петербурга и Москвы // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с межд. участием Института промышленного менеджмента, экономики и торговли. 2019. С. 29–32.
- Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review // Journal of Food Science and Technology. 2016. V. 53 (9). P. 3408–3423.
- Jeske S., Bez J., Arendt E. K., Zannini E. Formation, stability, and sensory characteristics of a lentil-based milk substitute as affected by homogenization and pasteurization // European Food Research and Technology. 2019. № 245(7). P. 1519–1531.
- H. M., Fontes Sant'Ana G. C. Microencapsulation of tiger nut milk by lyophilization: Morphological characteristics, shelf life and microbiological stability // Food Chemistry. 2019. № 284. P. 133–139.

10. Diarra K., Nong Z. G., Jie C. Peanut milk and peanut milk-based products production: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2005. № 45(5). P. 405–423.
11. Fitrotin U., Utami T., Hastuti P., Santoso U. Antioxidant properties of fermented sesame milk using *Lactobacillus plantarum* Dad 13 // *Int. Res. J. Biol. Sci.* 2015. № 4. P. 56–61.
12. Kolapo A.L., Oladimeji G.R. Production and quality evaluation of soy-corn milk // *Journal of Applied Biosciences*. 2008. V.1 (2). P. 40–45.
13. Rincon L., Braz R., Botelho A., Alencar E.R. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut // *LWT*. 2020. № 148. 109479.
14. Bolarinwa I. F., Aruna T. E., Adejuyitan J. A., Akintayo O. A., Lawal O. K. Development and quality evaluation of soy-walnut milk drinks // *International Food Research Journal*. 2018. № 25(5). P. 2033–2041.
15. Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Икрамов Р.А. Потребительские предпочтения в дифференциации пищевых продуктов // *Международный научный журнал*. 2019. № 5. С. 32–37.
16. Ismail M.M., Abou-Dobara M.I., Nawal M.R. Functional Rice Rayeb Milk: Chemical, Microbiological and Sensory Properties // *Journal of Nutrition and Health Sciences*. 2018. № 5(2). P. 203–215.
17. Нилова Л.П., Шеленга Т.В., Васипов В.В. Влияние муки кедрового ореха на биохимический состав изделий из пшеничной муки // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2017. № 2 (43). С. 3–8.
18. Codina-Torrella I., Guamis B., Ferragut V., Trujillo, A. J. Potential application of ultra-high-pressure homogenization in the physico-chemical stabilization of tiger nuts' milk beverage // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017. № 40. P. 42–51.
19. Briviba K., Gräf V., Walz E., Guamis B., Butz P. Ultra-high-pressure homogenization of almond milk: Physico-chemical and physiological effects // *Food Chemistry*. 2016. № 192. P. 82–89.
20. Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Флоринская Е.Э. Роль растительного сырья в формировании потребительских свойств ферментированных молочных напитков // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016. № 44. С. 81–86.
21. Dupas C., Métoyer B., Hatmi H.E., Mahgoub S.A., Dumas E. Plants: A natural solution to enhance raw milk cheese preservation? // *Food Research International*. 2020. № 130. 108883.

Статья поступила в редакцию 02.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 664.165: 547.917

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0019

АДСОРБЦИОННАЯ ДЕКОЛОРИЗАЦИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МЕЛАНОИДИНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКОГО УГЛЕРОД-НАСЫЩЕННОГО СОРБЕНТА

©2020

Черепанов Игорь Сергеевич, кандидат химических наук,
доцент кафедры Фундаментальной и прикладной химии
Абдуллина Гулямза Миннулловна, магистр направления подготовки «Химия»
Удмуртский государственный университет
(426034, Россия, Ижевск, ул. Университетская, 1, e-mail: cherchem@mail.ru)

Аннотация. Меланоидины – высокомолекулярные темноокрашенные продукты конечных стадий реакции Майяра – в настоящее время интенсивно изучаются, поскольку имеют существенное значение для пищевой промышленности и сельского хозяйства. Они обладают антиоксидантными, антимикробными, антиаллергенными свойствами, определяющими их практическое применение, при этом интенсивная окраска меланоидинов при попадании их в водоемы вызывает негативные последствия: поглощение ими солнечных лучей приводит к деградации водных экосистем. Меланоидины с высокой ароматической структурной составляющей могут быть токсичными по отношению к компонентам живых систем, что делает актуальной проблему их связывания и выведения из природных источников. В настоящей работе представлены результаты по изучению деколоризации водных растворов интенсивно окрашенных продуктов реакции Майяра, синтезированных при различном соотношении исходных углевода и ароматического амина. В качестве адсорбента использован синтетический продукт, полученный в результате процессов карбонизации глюкозы, охарактеризованный на основании спектральных данных и элементного анализа как углерод-насыщенный материал. На основании результатов ИК-Фурье спектроскопического анализа показана возможность концентрирования меланоидинов на поверхности синтетического адсорбента за счет преимущественно межмолекулярных водородных связей и π - π -взаимодействий. Последнее может быть достаточно интенсивным вследствие высокой молекулярной массы меланоидинов, при этом оказывается вполне логичным более интенсивное связывание меланоидинов, синтезированных в условиях избытка ариламина. Результаты проведенных исследований планируется в дальнейшем использовать для разработки технологий получения синтетических сорбентов, активных в отношении связывания интенсивно окрашенных высокомолекулярных веществ с существенной ароматической структурной составляющей.

Ключевые слова: деколоризация, меланоидины, сорбция, синтетические сорбенты, ИК-Фурье спектроскопия, углеводы

ADSORPTIVE DECOLORIZATION OF AQUEOUS MELANOIDIN SOLUTIONS USING SYNTHETIC CARBON-SATURATED SORBENT

©2020

Cherepanov Igor Sergeevich, candidate of chemical sciences,
associate professor of Fundamental and applied chemistry department
Abdullina Gulyamza Minnullovna, undergraduate
Udmurt State University

(426034, Russia, Izhevsk, street Universitetskaya 1, e-mail: cherchem@mail.ru)

Abstract. Melanoidins - high molecular weight dark colored products of the final stages of the Maillard reaction, are currently being intensively studied, since they are of significant importance for the food industry and agriculture. They have antioxidant, antimicrobial, antiallergenic properties that determine their practical use, while the intense coloration of melanoidins when they enter water bodies causes negative consequences: their absorption of sunlight leads to degradation of aquatic ecosystems. Melanoidins with a high aromatic structural component can be toxic to the components of living systems, making the problem of their binding and removal from natural sources urgent. The paper presents the results of studying the decolonization of aqueous solutions of intensely colored Maillard reaction products, synthesized at different ratios of initial carbohydrate and aromatic amine. As adsorbent used a synthetic product, obtained as a result of glucose carbonation processes, characterized on the basis of spectral data and elemental analysis as a carbon-saturated material. Based on IR-Fourier transform spectroscopic data analysis, the possibility of concentrating melanoidins on the surface of a synthetic adsorbent due mainly to intermolecular hydrogen bonds and π - π -interactions is shown. Such interactions can be quite intense due to the melanoidin high molecular weight, while more intensive binding of melanoidins synthesized under conditions of excess aryl amine is quite logical. The results of studies presented are planned to be used for the development of technologies for the production of synthetic sorbents, active in binding intensively colored high-molecular substances with a significant aromatic structural component.

Keywords: decolorization, melanoidins, sorption, synthetic sorbents, IR Fourier transform spectroscopy, carbohydrates.

Введение. Меланоидины – высокомолекулярные темноокрашенные продукты конечных стадий реакции Майяра – в настоящее время интенсивно изучаются, поскольку имеют существенное значение для пищевой промышленности и сельского хозяйства. Они обладают антиоксидантными, антимикробными, антиаллергенными свойствами, определяющими их практическое применение [1], при этом интенсивная окраска пищевых меланоидинов при попадании их в водоемы вызывает негативные последствия: поглощение ими солнечных лучей приводит к разрушению экосистем [2-4]. Кроме того, продукты реакции Майяра на основе ароматических аминов могут быть токсичными по отношению к компонентам живых систем. К настоящему времени описано большое количество методов деколоризации растворов меланоидинов, наиболее часто используемыми из которых являются биологические, электрохимические и адсорбционные методы [1,2]. Биологическая деколоризация ограничивается природными факторами, электрохимические (электрокоагуляционные) методы являются достаточно сложными в аппаратном оформлении, а также энергос затратными. В связи с этим все большее распространение получают методы связывания красителей из растворов посредством адсорбции на развитых поверхностях [1,2].

Строение меланоидинов характеризуется широким спектром функциональных групп различного характера [4], включение в структуру которых определяется многими факторами, такими как природа исходных компонентов, их соотношение, характер растворителя и температурный режим процесса. Изучение структурно-группового состава меланоидинов является важным этапом изучения процессов адсорбционной деколоризации [1,2], поскольку взаимодействие функциональных групп адсорбента и адсорбата определяет возможность связывания красителя из раствора поверхностью носителя. Ранее нами было изучена адсорбционная деколоризация растворов углеводных карамелей на поверхности продуктов карбонизации, синтезированных в углевод-ариламинных системах [5]. Применение синтетических углерод-насыщенных материалов в качестве адсорбентов для связывания меланоидинов показало заметную эффективность, в том числе в сравнении с использованием адсорбентов, полученных из вторичного сырья, и представляется перспективным методом очистки [6,7]. В связи с чем **целью** настоящей работы являлось исследование процессов адсорбционной деколоризации водных растворов меланоидинов системы *D*-лактоза – *n*-толуидин в условиях их концентрирования на поверхности твердого синтетического углерод-насыщенного сорбента.

Материалы и методы исследований. Синтез модельных меланоидиновых продуктов осуществлялся нагреванием исходных реагентов (800С) в водно-этанольных растворах (62% *EtOH* «Merck», 25 мл, НОАслед в качестве катализатора) в колбах с обратным холодильником в течение 3 часов при соотношениях *D*-лактозы и *n*-толуидина 5:1, 1:1 и 1:5.

По окончании термостатирования избыток растворителя удалялся, продукты дважды промывались безводным эфиром и высушивались в эксикаторе. Контроль за ходом реакции выполнялся методами УФ-спектрофотометрии (спектрофотометр СФ-2000) и тонкослойной хроматографии на пластинках «Silufol» (элюэнтная система бутанол:этанол:вода 4:5:1). Колебательные спектры снимались на ИК-Фурье спектрометре ФСМ-2201 в таблетках бромида калия (1:200) со спектральным разрешением 4 см^{-1} при 40 сканах, и обрабатывались в программе *FSpec*. Для возможности сравнительного анализа спектров поглощения проводилась базовая линия, которая аппроксимировалась полиномом 4-й степени по участкам с отсутствующими интенсивными полосами поглощения (коротковолновые границы δ_{OH} , C_H и ν_{OH}). Сорбент синтезировался по предложенной ранее методике [5] нагреванием эквимолярной (0.002 моль) смеси *D*-глюкозы с *n*-толуидином в 15 мл растворителя (99.5% *EtOH* «Merck») при термостатировании в течение 1 часа при 700°С в колбе с обратным холодильником. Динамика реакции контролировалась спектрофотометрически, массовое содержание углерода методом элементного анализа (элементный анализатор «Vario MICRO Cube»). Из основной реакционной массы удалялся растворитель, твердые продукты дважды промывались абсолютным эфиром для удаления остатков *p*-толуидина, затем дистиллированной водой на стеклянных фильтрах до получения бесцветного раствора над нерастворившимся осадком, использовавшимся в качестве адсорбента ($w_c = 65.2 \pm 0.5\%$). Эксперименты по адсорбционному связыванию меланоидинов проводились встряхиванием 0.04 г адсорбента в водном растворе 0.2 г/л меланоидина в течение 2 часов [1,4]. Отфильтрованный и высушенный адсорбент исследовался методом ИК-Фурье спектроскопии. Эффективность деколоризации (%) оценивалась спектрофотометрически по поглощению растворов при длине волны 420 нм до (A'_{420}) и после (A''_{420}) сорбции в соответствии с методикой [2].

Результаты исследования. Методы колебательной спектроскопии являются наиболее информативными в изучении структурно-группового состава функционализированных высокомолекулярных продуктов [4,5]. Изучение синтезированных меланоидинов методами ИК-Фурье спектроскопии показывает различия в их функционализации в зависимости от соотношения исходных реагентов (рис. 1).

Сопоставление спектральных профилей позволяет сделать вывод об увеличении ароматической составляющей с ростом соотношения *n*-толуидин: *D*-лактоза, что выражается в существенном увеличении интенсивности полос 1510 см^{-1} ($\nu_{C=C}$) и 815 см^{-1} ($\nu=C-H$). Усиление широкой полосы 2600 см^{-1} ($\nu_{NH_2^+}$) и плеча при 3250 см^{-1} (ν_{NH}) низкочастотном крыле полосы $3000-3500\text{ см}^{-1}$ свидетельствует об увеличении содержания фрагментов ариламина в конечной структуре [5]. С другой стороны, в спектре продукта 3 четко фиксируется полоса 1710 см^{-1} ($\nu_{C=O}$), характерная для псевдомеланоидиновых структур, полученных в ус-

ловиях существенного избытка исходного углевода [4], тогда как для двух других составов данная полоса фиксируется в виде слабой инфлексии.

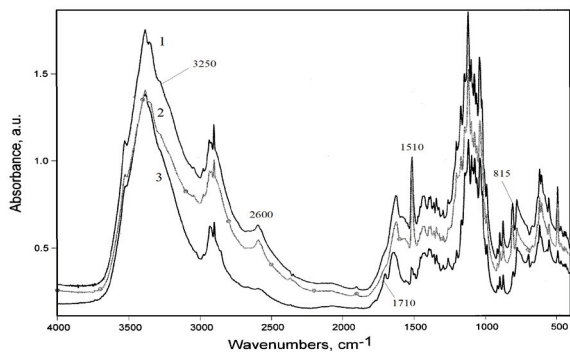


Рисунок 1 - ИК-Фурье спектры продуктов реакции Майяра в системе D-лактоза (Л) – n-толуидин (Т), синтезированные при различном соотношении исходных компонентов (Т:Л): 1. – 5:1 ; 2. – 1:1; 3. – 1:5

Традиционно для сорбции меланоидинов из водных растворов применяются углерод-насыщенные материалы, в частности различные модификации углей [1]. Для проведения экспериментов по деколоризации растворов меланоидинов нами были использованы твердые продукты карбонизации глюкозы, синтезированные и изученные нами ранее в качестве сорбента для извлечения углеводных карамелей из водных растворов [5]. Подобные продукты характеризуются повышенным в сравнении с классическими продуктами углевод-аминых конденсаций содержанием углерода (65-70%) за счет интенсивно протекающих процессов ароматизации [5]. Последнее происходит вследствие гетерогенности процессов углевод-аминых конденсаций при проведении реакций в безводном этаноле [8-10]; применение безводного растворителя может быть причиной интенсификации реакции Майяра вследствие протекания ранних стадий через интермедиаты с повышенной реакционной способностью [11], не способные к образованию в водных средах.

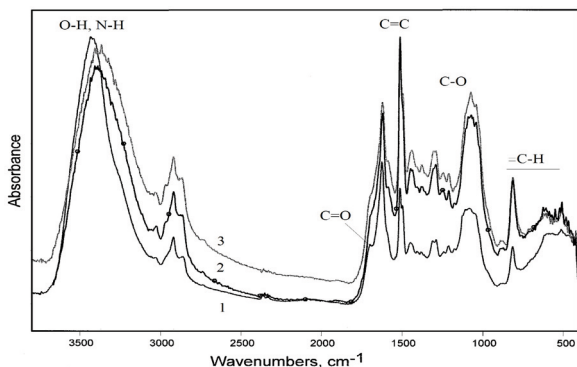


Рисунок 2 - ИК-Фурье спектры адсорбентов до (1) и после (2,3) адсорбционной деколоризации растворов меланоидинов: 2. – Т:Л = 5:1; 3. – Т:Л = 1:5

Структура адсорбента характеризуется, помимо наличия функциональных групп (рис. 2, спектр 1) [5,8], высокой степенью ароматичности, о чем свиде-

тельствуют данные элементного анализа, а также интенсивные полосы при 815 (внеплоскостные деформационные ν_{C-H} колебания), 1508 (валентные колебания С-С связей + плоскостная деформация углов ССС кольца) и 1608 (скелетные колебания ароматического кольца) cm^{-1} . Продукты аналогичного структурно-группового состава (меланины) успешно изучены в качестве адсорбентов [12].

На рисунке 3 представлены характеристики эффективности деколоризации растворов меланоидинов, синтезированных при различных исходных соотношениях n-толуидина и D-лактозы.

Как видно из представленных данных, увеличение содержания углевода в исходной смеси реагентов снижает эффективность связывания меланоидина. Косвенно оценить характер взаимодействия адсорбент – адсорбат позволяет анализ колебательных спектров (рис. 2).

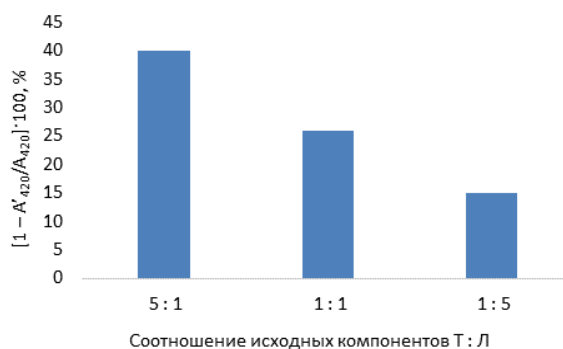


Рисунок 3 - Эффективность деколоризации растворов меланоидинов

Смещение характеристических полос относительно спектров исходного состояния компонентов системы и появление новых полос указывает химическое связывание функциональных групп меланоидинов с поверхностью [1], тогда как их неизменность свидетельствует о преобладании межмолекулярных электростатических сил [2]. Сопоставление спектральных полос чистого адсорбента с его спектрами после адсорбционных экспериментов показывает практически полное совпадение характеристических полос, что как уже отмечалось, указывает на преимущественно нековалентное связывание фрагментов меланоидинов с поверхностью адсорбента. Участие функциональных групп адсорбента во взаимодействии выражено слабо: плечо при 1720 cm^{-1} ($\nu_{C=O}$) сохраняет свое положение и интенсивность, аналогичный вывод можно сделать относительно полос ν_{C-O-H} в интервале $1000-1300\text{ cm}^{-1}$, способных к участию в связывании меланоидинов [6]. Можно предположить, что основной вклад вносят межмолекулярные связи функциональных групп меланоидинов, а также $\pi-\pi$ -взаимодействия ароматических систем адсорбента и адсорбата [1,7,13]. Последнее может быть достаточно интенсивным вследствие высокой молекулярной массы меланоидинов [6,15-17], при этом оказывается

вполне логичным более интенсивное связывание меланоидинов, синтезированных в условиях избытка ариламина (рис. 3). Кроме того, в обоих случаях наблюдается некоторое уширение и сдвиг в низкочастотную область полосы валентных колебаний *ОН*-групп от значений 3480 см⁻¹ (рис. 2, спектр 1) к значениям 3450 см⁻¹ (рис. 2, спектры 2,3), что свидетельствует об образовании водородных связей между функциональными группами адсорбента и адсорбата [14]. Результаты проведенных исследований планируется в дальнейшем использовать для разработки технологий получения синтетических сорбентов, активных в отношении связывания высокомолекулярных веществ с существенной ароматической структурной составляющей [18-20].

Результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие **выводы**:

1. На основании данных ИК-Фурье спектроскопического анализа показана возможность концентрирования меланоидинов на поверхности синтетического адсорбента за счет преимущественно межмолекулярных водородных связей и π - π -взаимодействий.

2. Неспецифические адсорбционные взаимодействия адсорбент-адсорбат в исследуемых системах достаточно интенсивны вследствие высокой молекулярной массы меланоидинов, при этом более полное связывание наблюдается для меланоидинов, синтезированных в условиях избытка ариламина.

3. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для разработки технологий получения синтетических сорбентов, активных в отношении связывания интенсивно окрашенных высокомолекулярных веществ с существенной ароматической структурной составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Liakos, T. Melanoidin removal from molasses effluents by adsorption / T. Liakos, N. Lazaridis // *J. Water Proc. Eng.* – 2016. – Vol. 10. – P. 156–164.
2. Dolphen, R. Adsorption of melanoidins by chitin nanofibers / R. Dolphen, P. Thiravetyan // *Chem. Eng. J.* – 2011. – Vol. 166. – P. 890–895.
3. Черепанов, И.С. Изучение диализуемых фракций меланоидинов водно-этанольных систем D-лактоза-ариламин / И.С. Черепанов, Г.М. Абдуллина // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.* – 2017. – Т.21. - №2. – С. 181–184.
4. Rubinsztain, Y. Characterization of melanoidins by IR spectroscopy II. Melanoidins of galactose with arginine, isoleucine, lysine and valine / Y. Rubinsztain, S. Yariv, P. Ioselis, Z. Aizenshtat, R. Ikan // *Org. Geochem.* – 1986. – Vol. 9. – P. 371–374.
5. Cherepanov, I.S. Carbonization products in D-glucose – p-toluidine system as sorbents of carbohydrate caramels from aqueous solutions / I.S. Cherepanov // *IOP Conference Series: Environmental and Earth Science.* – 2019. – Vol. 315. – P. 062001. doi: 10.1088/1755-1315/315/6/062001
6. Nunes, D. Melanoidin removal mechanism in an aqueous adsorption system: an equilibrium, kinetic and thermodynamic study / D. Nunes, L. Oliveira, A. Franca // *Res. Pat. Food Nutr. Agric.* – 2015. – Vol. 7. – P. 36–46.
7. Sahiner, N. Synthesis, characterization, and use of carbon microspheres for removal of different dyes from aqueous environments / N. Sahiner., M. Farooq, S. Rehman, M. Sahiner // *Water Air Soil Pollut.* – 2017. – Vol. 227. – P. 382. Doi: 10.1017/s11270-017-3566-3
8. Cherepanov, I.S. Formation of humic substances in reaction of D-glucose with p-toluidine in anhydrous ethanol / I.S. Cherepanov, P.S. Kryukova // *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* – 2020. – Vol. 10. – P. 188–195. doi: 10.21285/2227-2925-2020-10-2-118-195
9. Bouchard, A. Properties of sugars, polyol and polysaccharide water-ethanol solution / A. Bouchard, G. Holland, G. Witkamp // *J. Chem. Ing. Data* - 2007. – Vol. 52. – P. 1838–1842.
10. Shen, S.-C. Maillard reaction in ethanolic solution / S.-C. Shen, J.S.-B. Wu // *J. Food Sci.* – 2004. – Vol. 69. – P. 273–279.
11. Bruhns, P. Basic structure of melanoidins formed in the Maillard reaction of 3-deoxyglucosone and γ -aminobutyric acid / P. Bruhns, C. Kanzler, A. Degenhardt, T. Koch, L. Kroh // *J. Agric. Food Chem.* – 2019. – Vol. 67. – P. 5197–5203.
12. Gracheva, N. Sorption properties of sunflower husk melanins / N. Gracheva, V. Zheltobryukhov // *Pharm. Chem. J.* – 2019. – Vol. 54. – P. 337–341. doi: 10.1007/s11094-019-02002-2
13. Simaratanamongkol, A. Decolorization of melanoidin by activated carbon obtained from bagasse bottom ash / A. Simaratanamongkol., P. Thiravetya // *J. Food Ing.* – 2010. – Vol. 96. – P. 14–17. doi: 10.1016/j.jfoodchem2009.06.033
14. Полуниин, К.Е. Исследование состава адсорбционных слоев стилибенов на TiO₂ методом ИК-спектроскопии / К.Е. Полуниин, Д.В. Дзарданов, Н.П. Соколова, А.М. Горбунов, Р.А. Булгакова, И.А. Полунина // *Сорбционные и хроматографические процессы.* – 2008. – Т.8. №5. – С. 796–806.
15. Urashima, T. The condensation of 5-(Hydroxymethyl)-2-Furfuraldehyde with some aldoses on heating / T. Urashima, K. Suyama, S. Adachi // *Food Chem.* – 1988. – Vol. 29. – P. 7–17.
16. Грачева, Н.В. Сорбция анионных азокрасителей на полимерном материале растительного происхождения / Н.В. Грачева, В.Ф. Желтобрюхов, Ю.Л. Беляева, Н.О. Сиволобова // *Известия ВолгГТУ.* – 2017. - № 1. – С. 107–109.
17. Patil, S. Comparison of structural features of humins formed catalytically from glucose, fructose and 5-hydroxymethyl-furfuraldehyde / S. Patil, J. Heltzel, C. Lund // *Energy Fuels.* – 2012. – Vol. 26. – P. 5281 – 5293.
18. Bai, C.-X. Preparation of porous carbon directly from hydrothermal carbonization of fructose and phloroglucinol for adsorption of tetracycline / C.-X. Bai, F. Shen, X.-H. Qi // *Chin. Chem. Lett.* – 2017. – Vol. 28. – P. 960–962.
19. Serpen, A. Adsorption of Maillard reaction products from aqueous solutions and sugar syrups using adsorbent resin / A. Serpen, B. Atac, V. Gokmen // *J. Food Ing.* – 2007. – Vol. 82. – P. 342–350.
20. Uddin, M.T. Adsorptive removal of methylene blue by tea waste / M.T. Uddin, M.A. Islam, S. Mahmud, M. Rukkanuzaman // *J. Hazzard. Mater.* – 2007. – Vol. 140. – P. 60–68.

Статья поступила в редакцию 09.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 614.31:637.5

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0020

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЭЖХ-МС/МС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА МЕТАБОЛИТОВ НИТРОФУРАНОВ В МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ

©2020

Чаплыгина Ольга Сергеевна, аспирант

Подлегаева Татьяна Викторовна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Технология и организация общественного питания»

Остроумов Лев Александрович, доктор технических наук, профессор,

главный научный сотрудник НИИ биотехнологии

Голубцова Юлия Владимировна, доктор технических наук, профессор,

заведующая кафедрой «Технология и организация общественного питания»

Кемеровский государственный университет

(650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6,

e-mails: chaplygina_95@mail.ru, tpodlegaeva@yandex.ru, ula.gol@mail.ru)

Аннотация. Пищевые продукты животного происхождения в настоящее время нередко представляют собой опасность для жизни и здоровья населения в силу содержания различных пищевых и лекарственных добавок, используемых как на этапе выращивания животного, так и на этапе производства и хранения продукции. Одним из таких элементов в мясной продукции могут являться антибиотики различных классов, используемые в животноводстве и ветеринарии в качестве стимуляторов роста или для профилактики и лечения ряда заболеваний. Важной задачей производства стоит не допускать такого рода продукцию для употребления, как в виде самостоятельного продукта, так и в качестве сырья. Для решения подобных задач необходимы точные и эффективные методики определения антибиотиков в пищевых продуктах. В работе рассмотрена возможность применения методики высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором к анализу мясного сырья на остаточное количество метаболитов нитрофуранов - 3-амино-2-оксазолонин (НФ-АОЗ), 1-амино-гидантоин (НФ-АГД), 3-амино-5-морфолинметил-2-оксазолонин (НФ-АМОЗ). Была проведена валидация методики и исследовано наличие данной группы противомикробных препаратов в мясном сырье, полученном от производителей и хозяйств Кемеровской области. Из общего количества представленных образцов остатки метаболитов нитрофуранов обнаружены в 18,6% пробах, что свидетельствует о несоответствии данного вида сырья действующему законодательству.

Ключевые слова: метаболиты нитрофуранов, высокоэффективная жидкостная хроматография, валидация, мясное сырье, антибиотики, безопасность, хромато-масс-спектрометр, линейность, точность методики, хроматограмма.

USING THE HPLC-MS/MS METHOD TO DETERMINE THE RESIDUAL AMOUNT OF NITROFURAN METABOLITES IN MEAT PRODUCTS

©2020

Chaplygina Olga Sergeevna, postgraduate student

Podlegaeva Tatiana Victorovna, candidate of technical sciences, associate professor

of the department of technology and organization of public catering

Ostroumov Lev Aleksandrovich, doctor of technical sciences, professor,

chief scientific officer of the research Institute of biotechnology

Golubtsova Yulia Vladimirovna, doctor of technical sciences, professor of the department of technology and organization of public catering, head of department of technology and organization of public catering

Kemerovo State University

(Kemerovo, 650000, Russian Federation, Krasnaya st., 6,

e-mails: chaplygina_95@mail.ru, tpodlegaeva@yandex.ru, ula.gol@mail.ru: ula.gol@mail.ru)

Abstract. Food products of animal origin are now often a danger to the life and health of the population due to the content of various food and drug additives used both at the stage of animal rearing, and at the stage of production and storage of products. One of these elements in meat products may be antibiotics of various classes used in animal husbandry and veterinary medicine as growth promoters or for the prevention and treatment of a number of diseases. An important task of production is to prevent this type of product from being used as an independent product or as a raw material. To solve such problems, we need accurate and effective methods for determining antibiotics in food products. The paper considers the possibility of applying the method of high-performance liquid chromatography with a mass spectrometric detector to the analysis of meat raw materials for the residual amount of nitrofurans metabolites-3-amino-2-oxazolidinone (NF-aOZ), 1-amino-hydantoin (NF-AGD), 3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone (NF-AMOZ). The method was validated and the presence of this group of antimicrobials in raw meat obtained from producers and farms in the Kemerovo region was investigated. Out of the total number of samples presented, residues of nitrofurans metabolites were found in 18.6% of the samples, which indicates that this type of raw material does not comply with current legislation.

Keywords: nitrofurans metabolites, high-performance liquid chromatography, validation, meat raw materials, antibiotics, safety, chromatography-mass spectrometer, linearity, accuracy of the technique, chromatogram.

Введение. Пищевые продукты животного происхождения в настоящее время нередко представляют собой опасность для жизни и здоровья населения в силу содержания различных пищевых и лекарственных добавок, используемых как на этапе выращивания животного, так и на этапе производства и хранения продукции. Одним из таких элементов в мясной продукции могут являться антибиотики различных классов, используемые в животноводстве и ветеринарии в качестве стимуляторов роста или для профилактики и лечения ряда заболеваний.

Нитрофураны – группа противомикробных препаратов, которые характеризуются довольно широким спектром действия и являются в настоящее время одним из самых распространенных групп противомикробных препаратов. Несмотря на установленное законом запрещение во многих странах Европейского союза использования нитрофуранов, они продолжают оставаться доступными для использования в ветеринарии как в самих странах ЕС, так и во многих развивающихся странах по причине их эффективности и доступности. Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 13 февраля 2018 содержание антибиотиков группы нитрофураны и их метаболиты не допускаются в переработанной продукции животного происхождения, в том числе и сырье.

Нитрофураны обладают быстрым метаболизмом. Поэтому определить начальные соединения в продукции практически невозможно. После введения препарата через определенное время нитрофурановые метаболиты создают прочные связи с белками, в результате чего могут сохраняться в организме животного длительное время. Данные соединения накапливаются в мышечной ткани животных, а также выделяются с молоком здоровых и больных маститом коров. Процесс выведения препаратов происходит в разные сроки, в среднем он занимает 24 - 36 ч. Если производители не выдерживают положенный срок, остаточные количества метаболитов антибиотика обнаруживаются в мясе или молоке, и соответственно, через данные продукты попадут в организм человека [1,2]. Последствия их присутствия очевидны: они могут нарушать водно-солевой баланс, инактивируют ферменты, влияют на работу сердечно-сосудистой системы, снижают уровень белка в плазме крови и вызывают анемию и др.

Ученые всего мира обеспокоены проблемой безопасности пищевой продукции и используют различные методы и их модификацию для выявления противомикробных препаратов. В настоящее время подходы к обнаружению антибиотиков в пищевых продуктах строятся на инструментальных методах и методах биологических [3-7]. Инструментальные методы широко используются в методиках определения остатков противомикробных препаратов в пищевых продуктах во многих странах мира. Среди такой группы методов большую популярность, связанную с высокой точностью, эффективностью имеют методы высокоэффективной жидкостной хроматографии и

комбинацию хроматографии с масс-спектрометрией.

Важной задачей стоит не допускать такого рода продукцию для употребления, как в виде самостоятельного продукта, так и в качестве сырья. Для решения подобных задач необходимы точные и эффективные способы определения антибиотиков в пищевых продуктах, адаптированные к практическим условиям.

Целью работы является установление пригодности и валидация методики высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором для определения метаболитов нитрофуранов в мясной продукции.

Методы, материалы и результаты исследований. Для исследования использовали методику определения остаточного содержания метаболитов нитрофуранов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором по ГОСТ 32014-2012. Пробоподготовку проводили по ГОСТ 32014-2012.

Эксперимент проводили на приборе Хромато-масс-спектрометр *LCMS-8040 Shimadzu Corporation*. Подготовка хромато-масс-спектрометра к работе и создание метода «*NITROFURANS.clm*» осуществлялась и в соответствии с техническим руководством по эксплуатации прибора с использованием ПО *LadSolutions LCMS Release5.86. SP1*.

Градуировочные кривые строили в форме зависимости отношения массовой концентрации каждого нитрофенильного метаболита нитрофурана к массовой концентрации соответствующего дейтерированного нитрофенильного метаболита нитрофурана (внутреннего стандарта) от отношения площади хроматографического пика каждого нитрофенильного метаболита нитрофурана к площади пика дейтерированного нитрофенильного метаболита нитрофурана (внутреннего стандарта) для более интенсивного фрагментного иона.

В качестве «чистых проб» были использованы пробы различных матриц (4187м мясо говядины; 5162м мясо свинины; 4348м мясо птицы), предварительно исследованных на отсутствие метаболитов нитрофуранов методом иммуноферментного анализа. Валидацию методики проводили на одном виде мясного сырья – мышечной ткани крупного рогатого скота.

Постановку методики выполняли в следующих условиях: температура окружающей среды – 20-250С; атмосферное давление – 84 - 100 кПа; относительная влажность воздуха - 60 - 80%; напряжение в электросети - (220 ± 20) В; частота тока в электросети -49-51 Гц.

На втором этапе исследований нами был проведен анализ 43 проб мясной продукции, полученных от предприятий и хозяйств Кемеровской области на содержание остаточного количества метаболитов нитрофуранов: 3-амино-2-оксазолидинон (НФ-АОЗ), 1-амино-гидантоин (НФ-АГД), 3-амино-5-морфолинометил-2-оксазолидинон (НФ-АМОЗ), (2-нитрофенил)

метилен-семикарбазид (НФ-СЕМ). Из них 12 проб мышечной ткани крупного рогатого скота, 18 проб мышечной ткани свиней, 13 проб – мышечной ткани птицы. Исследования проводили в период с февраля по июнь 2020 г.

Изложение основного материала исследования. Валидация методики проводилась по следующим параметрам: правильность (истинность/восстановление), повторяемость, воспроизводимость, линейность. При указанных выше условиях было определено время выхода каждого из метаболитов нитрофуранов, мин:

НФ-АОЗ/ НФ- d4-АОЗ (внутренний стандарт) – 3,544/3,505;

НФ-АМОЗ/ НФ- d5-АМОЗ (внутренний стандарт) – 2,294/2,244;

НФ-АГД/ НФ-(С13)3-АГД (внутренний стандарт) – 3,402/3,433;

НФ-СЕМ/ НФ-1,2- N15,C13-СЕМ (внутренний стандарт) – 3,495/ 3,545.

Время выхода исследуемых метаболитов практически соответствует времени выхода по внутреннему стандарту, различаясь лишь в сотых долях.

Правильность метода оценивали с помощью сертифицированного эталонного материала (CRM) путем количественного измерения метаболитов. Для определения истинности исследовали 6 повторов CRM в соответствии с инструкциями по тестированию, применяемыми для данного метода. Обобщенная хроматограмма метаболитов нитрофуранов при концентрации C=5, мк/кг представлена на рисунке 1.

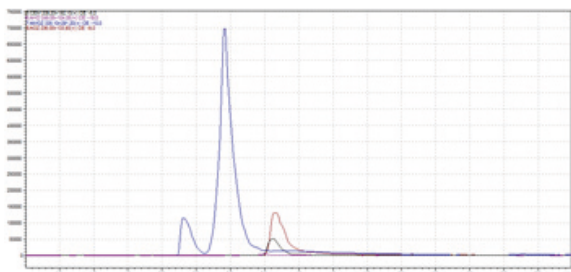


Рисунок 1 – Хроматограмма стандартных образцов метаболитов нитрофуранов

Обобщенные средние данные по оценке правильности (истинности/воспроизводимости) метода представлены в таблице 1.

Критерием приемлемости являлся среднее значение восстановления, скорректированное на 100%. Его средняя величина должна находиться в пределах допустимых значений. По результатам исследований показано, что по всем концентрациям среднее значение восстановления находится в пределах допустимых значений, что говорит о правильности и точности выбранного метода.

Повторяемость данной методики определяли в 6 повторах путем исследования мышечной ткани говядины, обогативших аналитом на трех различных уровнях концентрациях: в 1, 1,5 и 2 раза больше минимального рабочего предела или в 0,5, 1 и 1,5 раз

больше разрешенного предела. Критерием оценки повторяемости служит коэффициент вариации. По результатам исследований определено, что коэффициент вариации воспроизводимости для растворов с концентрацией метаболита 5,10,20 мкг/кг составил 19,3, 21,4, 23,8 %. По данным 2002/657/ЕС решения комиссии Таможенного Союза для подтверждения точности методики коэффициент вариации воспроизводимости не должен превышать межлабораторный коэффициент вариации. В нашем эксперименте межлабораторный коэффициент составил 28,8, 32,0, 35,5%, соответственно. Результаты показывают соответствие требованиям документа, что говорит о прецизионности методики в условиях повторяемости.

Таблица 1 – Оценка правильности метода

Уровень концентрации, мкг/кг	Среднее значение восстановления, %	Допустимое значение	Метаболит
C1 = 5	96	От 70% до 110%	АОЗ
	94		АМОЗ
	83		АГД
	86		СЕМ
C2 = 10	98	От 80% до 110%	АОЗ
	101		АМОЗ
	91		АГД
	89		СЕМ
C3 = 20	95	От 80% до 110%	АОЗ
	101		АМОЗ
	100		АГД
	101		СЕМ

Для определения диапазона применения методики была определена линейность с использованием растворов рабочих стандартных образцов изучаемых метаболитов. Оценка линейности также проводили в трех концентрациях рабочих стандартных образцов изучаемых метаболитов. Коэффициент корреляции является оценкой линейности методики.

Результаты исследований показали:

- для метаболита 3-амино-2-оксазолидинон (НФ-АОЗ) уравнение линейности $(0,745452 \cdot X)$, коэффициент корреляции составил 0,9999876;

- для метаболита 3-амино-5-морфолинометил-2-оксазолидинон (НФ-АМОЗ) – уравнение линейности описано, как $(0,538290 \cdot X)$, коэффициент корреляции при этом составил 0,9998994;

- для метаболита 1-амино-гидантоин (АГД) – уравнение линейности $(0,322419 \cdot X)$, коэффициент корреляции - 0,9998826.

- уравнение линейности для (2-нитрофенил)метилен-семикарбазид (НФ-СЕМ) представлено в виде $(0,461188 \cdot X)$, коэффициент корреляции - 0,9992603.

Наблюдаемый диапазон линейности составил (1-1000) нг/см³.

Совокупность данных можно описать прямой линией, если данный коэффициент имеет значения, близкие к 1,0. В данном случае можно говорить о подтверждении линейности (рис.2).

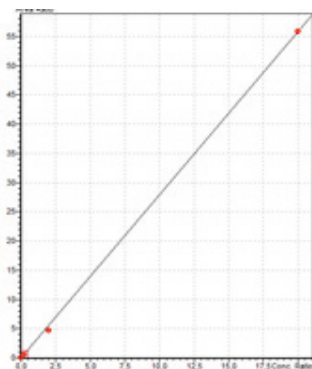


Рисунок 2 – График линейности методики

Таким образом, данная методика отличается точностью, правильностью, линейностью. На следующем этапе определяли остаточное количество метаболитов нитрофуранов в мясной продукции, используя вышеописанную методику. Данные исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Обнаружение остаточного количества метаболитов нитрофуранов в мясной продукции (февраль-июнь 2020 г.)

Объект исследования	Метаболит нитрофурана	Количество проб для исследования	Положительных проб	
			количество	%
Мышечная ткань крупного рогатого скота	3-амино-2-оксазолидинон (НФ-АОЗ)	12	0	0
	3-амино-5-морфолин-метил-2-оксазолидинон (НФ-АМОЗ)		0	0
	1-амино-гидантоин (АГД)		0	0
	(2-нитрофенил) метил-семикарбазид (НФ-СЕМ)		0	0
Мышечная ткань свиней	3-амино-2-оксазолидинон (НФ-АОЗ)	18	2	11,1
	3-амино-5-морфолин-метил-2-оксазолидинон (НФ-АМОЗ)		0	0
	1-амино-гидантоин (АГД)		0	0
	(2-нитрофенил) метил-семикарбазид (НФ-СЕМ)		0	0
Мышечная ткань птицы	3-амино-2-оксазолидинон (НФ-АОЗ)	13	2	15,4
	3-амино-5-морфолин-метил-2-оксазолидинон (НФ-АМОЗ)		0	0
	1-амино-гидантоин (АГД)		4	30,8
	(2-нитрофенил) метил-семикарбазид (НФ-СЕМ)		0	0
Всего:		43	8	18,6

Данные показали, что из общего количества представленных образцов (43) в 8 обнаружены остатки метаболитов нитрофуранов, что в среднем составило 18,6%. Из них доля 3-амино-2-оксазолидинона (АОЗ) составила 9,3% от общего количества проб, причем в двух случаях метаболиты были обнаружены в мышечной ткани свиней и в тех же количествах в мясе птицы. Аналогичное значение (4 пробы) составило

при обнаружении 1-амино-гидантоина (АГД), однако, в данном случае все образцы принадлежали мышечной ткани птицы.

Заключение. Метод определения остаточного содержания метаболитов нитрофуранов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором соответствует требованиям 2002/657/EC, данная методика воспроизводима, отличается достоверностью и точностью и позволяет объективно оценить количественное содержание нитрофуранов в мясном сырье, что играет важную роль в обеспечении качества продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Havelaar, A.H. A summary index for antimicrobial resistance in food animals in the Netherlands/ Havelaar, A.H., Graveland, H., van de Kasstele, J. et al. //BMC Vet Res. - 2017. - №13(305). <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1216-z>
- Ekakoro, J.E. Drivers, alternatives, knowledge, and perceptions towards antimicrobial use among Tennessee beef cattle producers: a qualitative study/ Ekakoro, J.E., Caldwell, M., Strand, E.B. et al.//BMC Vet Res. – 2019. –Vol. 15, 16. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1731-6>
- Hendrickson O.D. Development of a double immunochromatographic test system for simultaneous determination of lincomycin and tylosin antibiotics in foodstuffs /Hendrickson OD, Zvereva EA, Zherdev AV, Godjevargova T, Xu C, Dzantiev BB.// Food Chem. – 2020. – Vol.318:126510. doi:10.1016/j.foodchem.2020.126510
- Jalili .Detection of penicillin G residues in milk based on dual-emission carbon dots and molecularly imprinted polymers / Jalili, Roghaye; Khataee, Alireza; Rashidi, Mohammad-Reza// Food Chemistry, 2020. – 314: 126172
- Li, Zhao Bin. Production of generic monoclonal antibody and development of chemiluminescence immunoassay for determination of 32 sulfonamides in chicken muscle. /Li, Zhao Bin; Cui, Peng Lei; Liu, Jing; с соавторами// Food Chemistry. - 2020. ¶Vol. 311: 125966
- Chen, Xiang-Xiu. A dichromatic label-free aptasensor for sulfadimethoxine detection in fish and water based on AuNPs color and fluorescent dyeing of double-stranded DNA with SYBR Green I/ Chen, Xiang-Xiu; Lin, Zheng-Zhong; Hong, Cheng-Yi// Food Chemistry. – Vol. 309: 125712
- Закревский В.В. Мониторинг мясного сырья из разных стран на содержание метаболитов нитрофуранов/ В. В. Закревский, С. Н. Лелеко// Вестник СПбГУ. - 2014. - № 2. – С.66-74
- Li, Z. Production of generic monoclonal antibody and development of chemiluminescence immunoassay for determination of 32 sulfonamides in chicken muscle/ Li, Z., Cui, P., Liu, J., & Wang // J.Food chemistry. – 2019. – Vol. 311: 125966 .
- Zhou, Q. A novel hapten and monoclonal-based enzyme-linked immunosorbent assay for sulfonamides in edible animal tissues/ Zhou, Q. , Peng, D., Wang, Y., Pan, Y., Wan, D., Zhang, X., & Yuan, Z. // Food chemistry, 2014. - Vol .154. С. 52-62 .
- Xu, S.A heterometallic sodium(i)-europium(iii)-organic layer exhibiting dual-responsive luminescent sensing for nitrofurans antibiotics, Cr2O72- and MnO4- anions / Xu, S., Shi, J., Ding, B., Liu, Z., Wang, X., Zhao, X., & Yang, //E.Dalton transactions, 2019. - Vol. 48 5. С. 1823-1834 .
- Vass, M. Nitrofurans antibiotics: a review on the application, prohibition and residual analysis/ Vass, M., Hruska, K., & Fránek, M. //Veterinari Medicina, 2018. - Vol .53. С. 469-500.
- Fernando, R. Determination of nitrofurans metabolites in shrimp muscle by liquid chromatography-photo diode array detection/ Fernando, R., Munasinghe, D., Gunasena, A., & Abey-

naayake, P. //Food Control, 2018. - Vol .72. - С. 300-305.

13. Śniegocki, T. New Method of Analysis of Nitrofurans and Nitrofurantoin Metabolites in Different Biological Matrices Using UHPLC-MS/MS/ Śniegocki, T., Giergiel, M., Sell, B., & Posyński, A.// Journal of Veterinary Research,2018. - Vol. 62. С. 161 - 166.

14. Zhang, Y. Two cadmium(II) coordination polymers as luminescent sensors for the detection of nitrofurantoin/nitroimidazole antibiotics/ Zhang, Y., Yang, J., Zhao, D., Liu, Z., Li, D., Fan, L., & Hu, T.// CrystEngComm, 2019. - Vol. 21. С. 6130-6135.

15. Kulikovskii, A. V. Determination of Nitrofurantoin Metabolites in Muscular Tissue by High-Performance Liquid Chromatography with Mass Spectrometric Detection /Kulikovskii, A. V., Gorlov, I.F., Slozhenkina, M., Vostrikova, N., Ivankin, A.N., & Kuznetsova, O. //Journal of Analytical Chemistry,2019. – Vol. 74. С. 906 - 912.

16. Wang, K. Determination of Nitrofurantoin Metabolites in Fish by Ultraperformance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detection with Thermostatic Ultrasound-Assisted Derivatization/ Wang, K., Kou, Y., Wang, M., Ma, X., & Wang, J. //ACS Omega, 2020. - Vol. 5. - С. 18887 - 18893.

17. Yu, Y. Novel fluorescence labeling reagent 4-(carbazole-9-yl)-benzyl chloroformate and its application in the determination of nitrofurantoin metabolites compounds in foodstuffs by high performance liquid chromatography with fluorescence detection / Yu, Y., Li, N., Jin, Q., Ji, Z., Sun, Z., Li, G., Zhang, S., & You, J. // Microchemical Journal, 2019. - Vol. 145. - С. 9-17.

18. He, B. Electrochemical determination of nitrofurantoin residues at gold nanoparticles/graphene modified thin film gold electrode/ He, B., & Liu, H. // Microchemical Journal, 2019. – Vol. 150. С. 104108.

19. Aldeek, F. Accurate Quantitation and Analysis of Nitrofurantoin Metabolites, Chloramphenicol, and Florfenicol in Seafood by Ultrahigh-Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry: Method Validation and Regulatory Samples / Aldeek, F., Hsieh, K., Ugochukwu, O.N., Gerard, G., & Hammack, W. //Journal of agricultural and food chemistry, 2018. – Vol. 66 20. С. 5018-5030 .

20. Zhang, F. A Lanthanide MOF Thin-Film Fixed with Co₃O₄ Nano-Anchors as a Highly Efficient Luminescent Sensor for Nitrofurantoin Antibiotics /Zhang, F., Yao, H., Chu, T., Zhang, G., Wang, Y., & Yang, Y.// Chemistry, 2017. - Vol. 23 43. С. 10293-10300 .

21. Cooper, K.M. Development of Antibodies and Immunoassays for Monitoring of Nitrofurantoin Antibiotics in the Food Chain / Cooper, K.M., Fodey, T., Campbell, K.L., & Elliott, C.T.// Current Organic Chemistry, 2018. - Vol. 21. - С. 2675-2689.

22. Wang, Q. A multiplex immunochromatographic test using gold nanoparticles for the rapid and simultaneous detection of four nitrofurantoin metabolites in fish samples/ Wang, Q., Liu, Y., Wang, M., Chen, Y., & Jiang, W. //Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2017. – Vol. 410. С. 223-233.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ при государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4)

Статья поступила в редакцию 20.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 62-91

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0021

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В РОТОРЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДИСПЕРГАТОРА НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

© 2020

Авроров Валерий Александрович, доктор технических наук,
профессор кафедры «Пищевые производства»**Мурашкина Оксана Александровна**, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»**Сарафанкина Елена Александровна**, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: v_avrorov@bk.ru)*

Аннотация. Статья посвящена определению напряжений, возникающих в оболочке ротора диспергатора на высоких угловых скоростях ее вращения при обработке неоднородных дисперсных систем в зависимости от конструктивного исполнения внутренней полости ротора. Рассмотрены два исполнения внутренней полости ротора: в виде усеченного конуса и в виде цилиндра. Приведены выражения для определения давления, оказываемого обрабатываемой жидкой средой на стенки оболочки в зависимости от формы ротора, и возникающих при этом напряжений в ее поперечных сечениях. Приведенные выражения позволяют при проектировании промышленного образца диспергатора назначать рациональные размеры элементов тонкостенных оболочек высокоскоростных роторов с позиций прочности.

Ключевые слова: высокоскоростной роторный диспергатор, неоднородные дисперсные системы, ротор, оболочка ротора, форма оболочки, давление на стенки оболочки, напряжения в поперечных сечениях оболочки.

DETERMINATION OF STRESSES IN THE ROTOR OF A HIGH-SPEED DISPERSER FOR INHOMOGENEOUS LIQUID DISPERSED SYSTEMS

© 2020

Avrorov Valery Aleksandrovich, doctor of technical Sciences, Professor of the Department "Food production»**Murashkina Oksana Aleksandrovna**, senior lecturer of the Department "Food production»**Sarafankina Elena Aleksandrovna**, senior teacher of the Department "Food production»*Penza state technological University**(440039, Russia, Penza, Baidukova Ave. / Gagarina str., 1A / 11, e-mail: v_avrorov@bk.ru)*

Abstract. The Article is devoted to determining the stresses that occur in the dispersant rotor shell at high angular speeds of its rotation when processing inhomogeneous dispersed systems, depending on the design of the internal cavity of the rotor. Two versions of the internal cavity of the rotor are considered: in the form of a truncated cone and in the form of a cylinder. Expressions are given for determining the pressure exerted by the processed liquid medium on the shell walls depending on the shape of the rotor, and the resulting stresses in its cross sections. These expressions allow us to assign rational dimensions of elements of thin-walled shells of high-speed rotors in terms of strength when designing an industrial sample of a dispersant.

Keywords: high-speed rotary disperser, a heterogeneous disperse system, the rotor, the shell of the rotor shell, the pressure on the walls of the shell, stress in the cross sections of the shell.

Введение. Для обработки неоднородных дисперсных систем, к которым относятся различного вида эмульсии и суспензии, разработано устройство роторного высокоскоростного диспергирования [1], которое предназначено не только для ультратонкого распыления жидких сред, но и измельчения дисперсной фазы эмульсий и суспензий, что увеличивает их однородность и стабильность свойств.

Практическая значимость разработки подтверждена в 2010г. на X Московском международном салоне инноваций и инвестиций, на котором разработанное устройство было удостоено серебряной медали.

Исследованиям способов получения водно-жировых эмульсий, пен и методам расчета роторных аппаратов посвящены многие работы отечественных ученых [2-8].

В ранее опубликованных нами работах [9-13] на основе высокоскоростного роторного диспергатора были отражены результаты теоретических исследова-

ний технологических и гидродинамических параметров диспергирования неоднородных дисперсных систем. При проектировании промышленного образца диспергатора возникает задача расчета напряжений в стенке чашеобразного ротора, определяющих условия его прочности. Оболочка и внутренняя полость ротора может быть выполнена в виде усеченного конуса (рис. 1а) или цилиндра (рис. 1б).

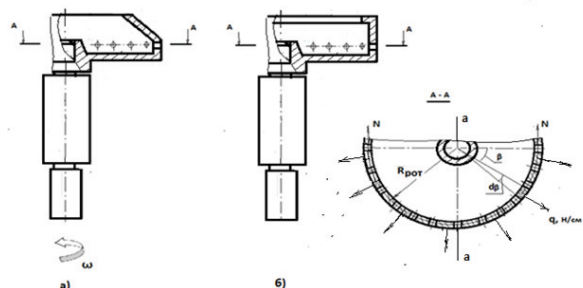


Рисунок 1 – Варианты исполнения внутренней полости ротора

Материалы и результаты исследования. Определяем напряжения в оболочке ротора. Пусть ротор, рассматриваемый в данном случае как тонкое кольцо, равномерно вращается вокруг вертикальной оси без жидкой среды с угловой скоростью ω . Угловое и тангенциальное ускорения равны нулю. На все элементы этого кольца будет действовать центростремительное ускорение, равное $w = (R_{рот} + s/2)\omega^2$, где s - толщина стенки [14]. Для определения напряженного состояния кольца, согласно принципу Даламбера, приложим ко всем его элементам силы инерции, которые будут направлены от центра и равномерно распределены по дуге окружности. Их интенсивность выразится как

$$q = \frac{\rho F}{g} \left(R_{рот} + \frac{s}{2} \right) \omega^2, \quad (1)$$

где ρ - плотность материала кольца, кг/м^3 ; F - площадь поверхности, м^2 .

Так как кольцо симметрично, то напряженное состояние во всех его точках можно считать одинаковым, и каждый его элемент должен деформироваться также одинаково.

Для определения внутренних сил N в поперечных

сечениях кольца (рис. 1, сечение $A-A$) условие равновесия в проекции на ось aa запишется как

$$-2N + 2 \int_0^{\pi/2} q \left(R_{рот} + \frac{s}{2} \right) \cos\beta d\beta \quad (2)$$

Откуда

$$N = \frac{\rho F v^2}{g} \quad (3)$$

где $v = (R_{рот} + \frac{s}{2})\omega$ - окружная скорость ротора, м/с .

Нормальное напряжение в поперечном сечении кольца будет равно [14]:

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{\rho v^2}{g} \quad (4)$$

Из формулы (4) можно видеть, что величина напряжений, возникающих в поперечных сечениях ротора, прямо пропорциональна квадрату окружной скорости и плотности материала ротора

Примем допущение, что поверхность жидкой дисперсной среды, поступающей в полость вращающегося ротора, будет иметь форму параболоида вращения для конической внутренней полости ротора (рис.2а) или форму цилиндра (рис.2б).

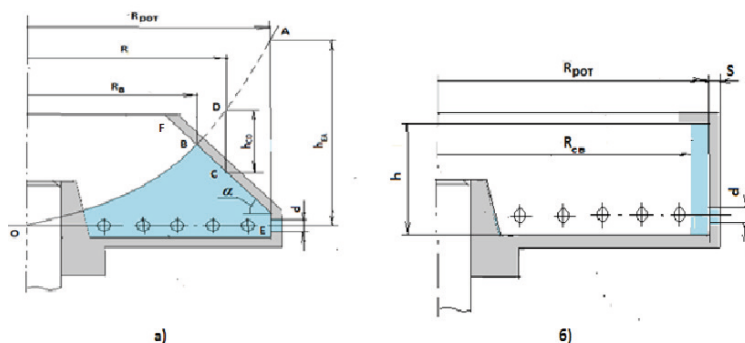


Рисунок 2 – Положение жидкой среды при вращении ротора

Ротор диспергатора можно рассматривать как тонкостенную осесимметричную чашеобразную оболочку. Теория расчета на прочность вращающихся оболочек с учетом поверхностных и массовых сил была подробно рассмотрена в [15,16].

Расчет по моментной теории в области малых перемещений, как отмечается в [17], сводится к решению линейных дифференциальных уравнений с правой частью, обуславливаемой действующей нагрузкой. При использовании безмоментной теории силы инерции допускается объединить с поверхностными силами, что отразится лишь на величине расчетного давления.

Руководствуясь методикой расчета [17] определим напряжения в конической стенке (рис. 1а и 2а), установленного с натягом на валу ротора. Угловая скорость вращения ротора ω может изменяться в пределах от 6280 до 20933,3 с^{-1} .

Пусть свободная поверхность жидкой среды при установившемся вращении ротора соответствует параболической кривой OA .

Давление в точке E на радиусе $R_{рот}$ будет определяться давлением столба жидкости высотой h_{EA}

$$p_E = \rho_{ж.с.} h_{EA} = \rho_{ж.с.} \frac{R_{рот}^2 \omega^2}{2g} \quad (5)$$

где $\rho_{ж.с.}$ - плотность обрабатываемой жидкой среды, кг/м^3 .

Давление p_C в произвольной точке C , находящейся на радиусе R будет зависеть от высоты столба жидкости h_{CD}

$$p_{CD} = \rho_{ж.с.} h_{CD} = \rho_{ж.с.} \left[\frac{R^2 \omega^2}{2g} - (R_{рот} - R) \text{tg} \alpha \right] \quad (6)$$

Силы инерции, возникающие при вращении ротора, направлены перпендикулярно оси его вращения, и их плотность q на каждом единице длины срединной поверхности оболочки равна

$$q = \frac{\rho}{g} R s \omega^2 \quad (7)$$

где s - толщина стенки ротора, м .

Из суммы проекций на вертикальную ось действующих сил в нормальном сечении C на радиусе R получим:

$$\sigma_n 2\pi R s \sin \alpha = V \rho_{п.ж.} \quad (8)$$

где σ_n - напряжение в нормальном сечении на радиусе R ; Н/м^2 ; V - объем, ограниченный смоченной поверхностью BC стенки, свободной поверхностью BD и вертикальными образующими ΔBCD , м^3 .

Согласно [17] этот объем равен:

$$V = \frac{\pi \omega^2}{4g} (R^4 - R_c^4) - \pi(R - R_c)tg\alpha \left[\left(\frac{2R_c + R}{3} \right) (R - R_c) + (R + R_c)(R_{ром} - R) \right] \quad (9)$$

Напряжение в нормальном сечении стенки на радиусе R :

$$\sigma_n = \frac{Vp}{2\pi R s \sin\alpha} \quad (10)$$

Для варианта исполнения ротора (рис.2 б) с учетом высокой угловой скорости его вращения можно принять, что поверхности равного давления в жидкой среде будут представлять собой цилиндрическую поверхность. Поэтому давление среды по всей образующей цилиндра будет постоянным и равным

$$p = \frac{\rho_i}{2g} [(R_{ром} + s)^2 - R_{ce}^2] \omega^2, \quad (11)$$

где R_{ce} – минимально возможный внутренний радиус кольцевого слоя жидкости, м ;

ρ_i – плотность обрабатываемой неоднородной жидкой среды (суспензии или эмульсии), кг/м³.

При расчете на прочность стенок ротора, кроме давления слоя жидкости, дополнительно должна быть учтена плотность сил инерции, приходящаяся на квадрат единицы длины цилиндрической поверхности ротора.

$$q = \frac{\rho}{g} R_{ce} s \omega^2. \quad (12)$$

Величина расчетного давления на стенку

$$p_p = p + q. \quad (13)$$

Приближенная оценка напряжения в меридиональном сечении цилиндрической оболочки согласно безмоментной теории расчета прочности [17] равна

$$\sigma_t = \frac{p_p (R_{ром} + s)}{s}, \quad (14)$$

в нормальном сечении:

$$\sigma_n = \frac{\rho \omega^2 [(R_{ром} + s)^2 - R_{ce}^2]}{8gs (R_{ром} + s)} \quad (15)$$

Приведенные выше формулы, определяющие давление, оказываемого вращающейся жидкой средой, на стенки ротора справедливы для сплошных стенок, в которых отсутствуют выходные отверстия. Наличие ряда выходных отверстий, через которые удаляется жидкость из ротора, снижает величину давления на стенки. Это снижение может быть учтено поправочным коэффициентом, равным отношению суммарной площади отверстий к общей площади смачиваемой поверхности ротора.

Основы и методика расчетов быстро вращающихся роторов (центрифуг различных типов) приведены в [18,19].

Заключение. Полученные аналитические выражения величины давления жидкой среды на стенки ротора при его вращении и величины возникающих в них напряжениях позволяют назначать рациональные размеры конструктивных элементов ротора и выбирать по допускаемому напряжению конструкционный материал, способный обеспечить диспергирование неоднородных жидких сред на сверхвысоких скоростях при меньшей металлоемкости конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Авроров В.А., Авроров Г.В. Центрифуга. Патент РФ

№2422213, В04В5/12, 2009.

2. Андреев В.Н., Калошин Ю.А., Тимин В.М. Способы получения водно-жировых эмульсий. Тезисы научно-практической конференции МГЗИПП (филиал г. Мелеуз) «Будущее за новыми технологиями». – М: 1999. – С.14-15.

3. Добкин Ф.С., Немчин А.Ф. Способ получения эмульсий. А. с. СССР № 1713628, В 01 F 3/08, 1992.

4. Промтов М.А. Интенсификация химико-технологических процессов в импульсных потоках гетерогенных гидкостей. Автореферат дисс. д.т.н. – Тамбов: ТГУ, 2001. – 32с.

5. Усупкожоева А.А. Применение пневмоцентробежного способа распыления для получения сухого молока 25 % жирности. Вестник БГСХА, 2016. т.45. № 4. – С. 101–108.

6. Березовский Ю.М. Теоретический анализ процесса взбивания пенообразных кондитерских масс в роторном эмульсаторе / Хранение и переработка сельхозсырья.- № 5, 2005. – С. 12–14.

7. Червяков В.М. Теоретические основы методов расчета роторных аппаратов с учетом нестационарных гидродинамических течений. Автореферат дисс. д.т.н. – Тамбов: ТГУ, 2007. – 31с.

8. Орешина М.Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация. Автореферат дисс. д.т.н. – М: 2010. – 50с.

9. Авроров В.А. О высокоскоростном роторном диспергировании жидких сред / Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2019, №10. – С.12 – 14.

10. Авроров В.А. Анализ движения жидкости в зазоре между ротором и статором высокоскоростного диспергатора / Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2020, №2. – С. 12 – 14.

11. Авроров В.А. Анализ движения жидкой среды в отверстиях ротора и статора / Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2019, №12. – С. 6 – 9

12. Авроров В.А. О возможности измельчения частиц дисперсной фазы суспензии в высокоскоростном роторном диспергаторе / Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2019, № 6. – С.

13. Avrorov V, Avrorov G. High-speed the dispersion continuous foods and others surroundings of spatial limit micro and nanostructure / Norwegian journal of the international science, 34, 2017. – р. 70 – 74.

14. Беляев Н.М. Соппротивление материалов. – М: Наука, 1976. – 608с.

15. Пономарев С.Д. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Т.2. – М:Машгиз, 1959.

16. Соколов В.И. Расчет роторов сепараторов по допускаемым напряжениям и по допускаемым нагшрузкам. Вестник машиностроения, №6, 1956.

17. Пономарев С.Д. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Т.3. – М:Машгиз, 1959. - 1118с..

18. Канторович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. Изд.2-е. – М:Машгиз, 1952.

19. Соколов В.И., Шкоропад Д.Е. Автоматические и непрерывно действующие центрифуги. – М: Машгиз, 1954.

Статья поступила в редакцию 20.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 614.8.084

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0022

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ С ИНГИБИТОРОМ КОРРОЗИИ

© 2020

Фаюстова Юлия Анатольевна, главный специалист по охране труда,
филиал «Мордовский» ПАО «Т Плюс» ОП Пенза

(440022, Пенза, ул.Новочеркасская, 1, e-mail: ylechka@mail.ru)

Красная Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Биотехнология и техносферная безопасность»

Пензенский государственный технологический университет

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

Аннотация. С каждым годом увеличивается локальное загрязнение вод, а в России оно получило опережающее распространение. Поэтому важны исследования в области снижения объемов водопользования, сточных вод. Это явилось целью исследования. В статье кратко описаны исследования подготовки воды для подпитки тепловых сетей на примере энергетического предприятия. Проведён мониторинг состава сточных вод, изучен качественный и количественный состав аналитическими методами. В течение нескольких лет усовершенствованы методики химического анализа производственных сточных вод на практике. Установлена необходимость изменения технологии подготовки воды, которые можно рассматривать как водопользователь больших объёмов. Рассмотрены факторы, влияющие на выбор методов защиты гидросферы. Показано как данный выбор осуществить на примере предприятий энергетического комплекса. Проанализированы известные ингибиторы коррозии для трубопроводов тепловых сетей. Выбран эффективный ингибитор коррозии трубопроводов, действие которого основано на способности к образованию труднорастворимых комплексов, не осаждающихся на поверхности труб. Коррозия труб не происходит, отложения не образуются. Это преимущество ингибитора позволяет отказаться от одной из стадий подготовки воды. Объём использования воды сокращается, значительно уменьшается объём сточных вод. Рассчитан экономический эффект от использования. Сделаны выводы по эффекту. Обоснована возможность изменений в технологии для других аналогичных предприятий.

Ключевые слова: энергетическое производство, выбор методов защиты гидросферы, сточные воды, водоподготовка, водопользование, ингибитор коррозии.

ANALYSIS OF WATER PREPARATION TECHNOLOGY WITH A CORROSION INHIBITOR

© 2020

Fayustova Yulya Anatolyevna, chief specialist on labor protection,
branch "Mordovsky" public joint stock company "T Plus" separate division Penza
(440022, Penza, Novoчерkasskaya street, 1, e-mail: ylechka@mail.ru)

Krasnaya Elena Gennadyevna, 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: krasna-elena@mail.ru)

Abstract. Local water pollution increases every year. It has become more widespread in Russia. Therefore, research is important in the field of reducing the volume of water use and waste water. This was the purpose of the study. Studies of water preparation for heat supply networks are described in the article succinctly on the example of an energy enterprise. The wastewater composition was monitored, the qualitative and quantitative composition of wastewater was studied by analytical methods. Methods of chemical analysis of industrial wastewater have been improved in practice for several years. The need to change the water treatment technology is established, which can be considered as a water users of large volumes. Factors considered in the study that affect the choice of methods for protecting the hydrosphere. This choice is shown on the example of enterprises of the energy complex. Known corrosion inhibitors for heat network pipelines have been analyzed. An effective pipeline corrosion inhibitor is selected. The action of the inhibitor is based on the ability to form difficult-to-dissolve complexes with substances from water that are not deposited on the surface of pipes. Corrosion of pipes does not occur, deposits are not formed. This advantage of the inhibitor allows you to abandon one of the stages of water preparation. The volume of water use is reduced, and the volume of waste water is reduced significantly. The economic effect of the use is calculated. Conclusions on the effect are made. The possibility is justified to use changes in technology for other similar enterprises.

Keywords: energy production, selection of methods for protecting the hydrosphere, waste water, water treatment, water use, corrosion inhibitor.

Введение. Слова Д.И. Менделеева «вода – дороже алмаза» в настоящее время становятся всё ближе к истине. Количество не идентифицируемых химических веществ, находящихся в воде отследить сложно. Ра-

стут и требования к качественному и количественному составу воды, в том числе, потому что ослабевает общая иммунная устойчивость населения. А чистая вода – один из залогов крепкого здоровья, что особен-

но важно в ситуации с увеличением заболеваемости вирусной природы. Чистая вода – входит как элемент создания качественной безопасной комфортной городской среды [1, с.40].

Поэтому актуальна проблема водопользования и в масштабах всей страны и в масштабах Пензенской области, где за последние три года объем загрязнённых сточных вод не изменился, хотя должен стремиться к уменьшению [2, с.11]. Кроме того, это соотносится с природоохранной политикой, имеющей своей целью снижение негативного техногенного воздействия на окружающую среду [3, с.41].

Для решения указанной проблемы целесообразно уменьшать объёмы пользования водой на производстве, изменять технологические процессы так, чтобы уменьшался и объём водопользования, и объём загрязнённых сточных вод.

В связи с этим, основной целью исследования является реализация природоохранных мероприятий для гидросферы на примере энергетического предприятия как водопользователя больших объёмов и возможного масштабирования на другие предприятия.

Для достижения цели решались следующие основные задачи:

- анализ выбора методов защиты гидросферы на примере энергетического производства (Пензенской ТЭЦ-2);
- сравнительный срез аналогичных технологий в других городах присутствия энергетического комплекса ПАО «Т Плюс»;
- предложения по изменению технологии подготовки воды на подпитку тепловой сети, т.е. переход со стадии *Na*-катионирования на технологию с ингибитором коррозии);
- расчёт технико-экономических показателей.

Методы исследования. Для решения задач использовались методы, связанные с мониторингом, экспериментом, описанием и обработкой статистических данных материалов по технико – экономическим показателям предприятий энергетического комплекса. Оборудование для проведения химического анализа производственных вод (спектрофотометр, ФЭК, а также программное обеспечение на компьютере, позволяющее перерабатывать статистические данные). Анализ сточных вод выполняли химико-аналитическими методами, предназначенными для анализа производственных вод электростанций.

Материалы и результаты исследования. В ходе исследований проанализирован состав сточных вод на двух водовыпусках изучаемого объекта. Установлено, что существуют превышения государственных норм по железу, фосфатам и др. показателям. Результаты обработки статистических данных за пять лет по показателю – железо в сточных водах водовыпуска №1 (при нормативе – 0,1 мг/дм³ по железу) показан на рисунке 1 [4, с. 88].

По другим показателям также произведена обработка данных и установлено, что в динамике увеличивается количество загрязняющих веществ в сточных

водах, следовательно, увеличивается техногенная нагрузка предприятия, несущая за собой увеличение платы за сброс, ухудшение технико-экономических показателей предприятия.

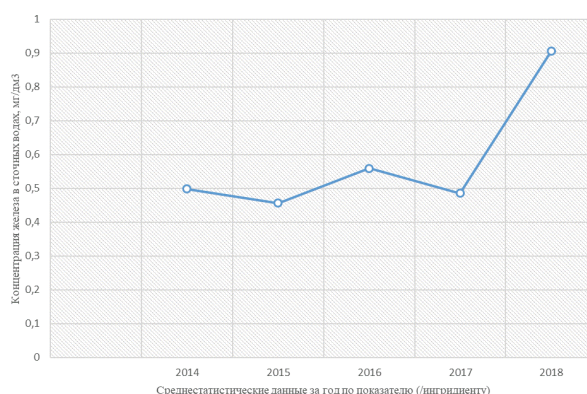


Рисунок 1 – Динамика изменения содержания железа в сточной воде (водовыпуск № 1)

Один из возможных путей уменьшения количества сточных вод, и, следовательно, воздействий на гидросферу – технология с ингибитором коррозии, поскольку она позволяет уйти от *Na*-катионирования, при котором большой объём воды тратится на регенерацию фильтров, и сбрасывается большой объём сточных вод.

Ингибитор коррозии для тепловых сетей должен являться разрешённым для подготовки воды систем горячего водоснабжения населения. Действие основано на образовании труднорастворимых комплексов с веществами (ионами) из воды, а также абсорбции на внутренних поверхностях труб самого ингибитора, что препятствует накипеобразованию и коррозии трубопроводов и оборудования подпитки тепловых сетей. Многие ингибиторы коррозии обладают свойством усиливать свое действие в присутствии ионов металлов.

В ином случае (в отсутствие контроля качества воды, малой эффективности *Na*-катионирования в паводковый период, отсутствии дозирования ингибитора) на поверхностях нагрева образуются отложения (рис. 2), т.е. случайное кратковременное попадание жесткой воды с систему подпитки тепловых сетей (без ингибирования) очень быстро выводит из строя теплообменное оборудование, трубопроводы [5, с. 163].



Рисунок 2 – Отложения на внутренних поверхностях нагрева тепломеханического оборудования

Образование отложений внутри трубного пространства приводит к разрывам труб, инцидентам и

авариям, косвенно может способствовать травмированию работников, что недопустимо. Поэтому часть производственных площадок рассматриваемого энергетического комплекса уже перешла на технологию подготовки воды для подпитки тепловых сетей с ингибитором коррозии. В основном применяют семь ингибиторов коррозии (рис. 3). Проведены исследования (опрос химических служб всех городов присутствия компании) результатом которых является ниже представленная диаграмма.

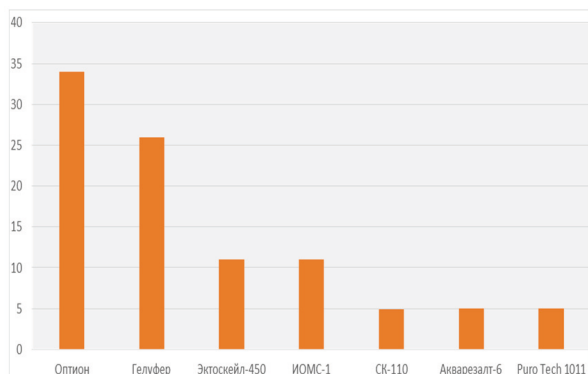


Рисунок 3 - Ингибиторы коррозии, применяемые на предприятиях энергетического производства

Ингибиторы *Гелуфер*, *Puro Tech 1011*, являются продуктами зарубежного производства, что может увеличить риски недопоставок, и как следствие нарушения в водно – химических режимов производственных вод, что вызывает последствия, показанные на рисунке 2. Поэтому, как наглядно показывает диаграмма, предприятия пользуются в основном отечественными, самый востребованный из которых – «*Оптион*».

Применение технологии обработки воды для подпитки тепловых сетей ингибитором, т.е. замедлителем коррозии «*Оптион*», является технологически эффективным и позволит уменьшить:

- в 2 раза - активность подпиточной воды к коррозионным процессам;
- в 2 раза - скорость образования отложений (солей жёсткости на внутренних поверхностях нагрева);
- неустойчивость водно-химического режима;
- объём сточных вод за счёт отказа от Na-катионирования.

Технологически подготовка подпиточной воды с применением замедлителя коррозии может быть осуществлена следующим образом: подача «*Оптиона*» известной концентрации производится в подпиточную линию пропорционально расходу. Для обеспечения точного дозирования с возможностью регулировки предлагается станция дозирования, позволяющая обработать пропорционально объём воды, используемой для подпитки тепловой сети Пензенской ТЭЦ-2 и поддержать заданную дозу реагента. Дозирование, возможно как в автоматическом, так и в ручном режиме. Схема установки для дозирования ингибитора коррозии представлена на рисунке 4.

Применение данного технического решения в

значительной мере снижает трудозатраты на подготовку воды: вместо 400 т поваренной соли для подпитки тепловых сетей (год) расходуется примерно 3 т реагента (в первый год), менее 2 т - в последующие годы. Уменьшение трудозатрат на выгрузку и перемещение мешков с солью влечет за собой ещё одно положительное последствие – уменьшение рисков несчастных случаев при погрузке и перемещении грузов персоналом.

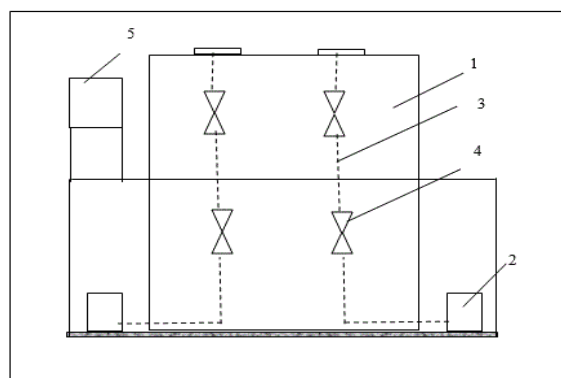


Рисунок 4 – Установка для дозирования ингибитора коррозии и накипеобразования (1 – бак (1 м³), 2 – насосы – дозаторы, 3- шланги подачи реагента, 4 – задвижки для регулировки, 5 – шкаф автоматики)

Ингибирование коррозии позволит привести содержание растворённого железа ($Fe_{общ}$) в сетевой воде к его уровню в подпиточной воде, т.е. сводится к минимуму поступление в сетевую воду продуктов коррозии, приводится в соответствие цветность, уменьшается отмывочный период по железу в момент начала отопительного сезона.

Проанализировав литературные данные и ознакомившись с опытом применения на предприятиях, можно сформулировать следующие основные преимущества *Оптиона*:

- защита от накипеобразования с возможностью исключения одной из стадий обработки воды - Na-катионирования;
- ингибирование, т.е. замедление коррозии углеродистой стали и медных сплавов, которая может быть спровоцирована содержанием растворённого углекислого газа, кислорода, хлоридов и сульфатов, низким значением *pH* среды) с возможностью исключения стадии деаэрации;
- высокая термическая устойчивость ингибитора, начало разложения при температуре 218 °С, окончание разложения – при более 350 °С.
- имеется разрешение к использованию в открытых системах теплоснабжения и системах горячего водоснабжения.

Для Пензенской ТЭЦ-2 рассчитан экономический эффект от внедрения технологии: объём сточных вод уменьшится на 73 – 75 тыс. м³ в год; плата штрафов за сверхнормативный сброс за один квартал составит примерно 300 тыс. руб.

Мониторинг сточных вод ООО «Горводоканал»

проводит примерно 4 раза в год, следовательно, за годовой объём сточных вод - 100 тыс. м³ плата ($P_{св}$) за сброс сточных вод составит примерно 1200 млн. руб. При сокращении стоков на 75 тыс.м³, плата за сброс составит приблизительно 300 тыс. руб. Отсюда сокращение платы за сброс – уменьшение в 4 раза:

$$P_{св} = \frac{1200 \text{ тыс. руб.}}{300 \text{ тыс. руб.}} \cong 4 \text{ р.}$$

Заключение. Таким образом, по проведённым исследованиям можно заключить, что изменение технологии подпитки тепловых сетей на стадии подготовки воды экологически и экономически эффективно. С применением ингибитора коррозии объём сточных вод сократится в 1,5 раза, плата штрафов снизится примерно на 900 тыс. рублей в год. Следовательно, снизится техносферная нагрузка на гидросферу, что прекрасно соотносится с экологической политикой компании и нашей страны [6, с. 47 - 51].

Внедрение технологии с использованием ингибитора коррозии, принесёт видимый и быстрый экономический эффект, что подтверждено на предприятии. Кроме того, в условиях социальной значимости [7, с.18], являются: низкие капитальные затраты; небольшие расходы на эксплуатацию; сведение к нулю накипи и коррозии на трубных системах тепловых сетей; отмывка отложений на поверхностях нагрева оборудования, участвующего в схеме; снижение трудозатрат, рисков возникновения несчастных случаев; экономическая обоснованность и уменьшение воздействия на гидросферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Кузнецов А.И., Шагидуллина Р.А. Обеспечение экологической безопасности как обязательное условие создания благоприятной среды // Безопасность жизнедеятельности. – Москва, 2017. – № 5. – с. 40 – 43.
- Федеральная служба государственной статистики. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области (Пензастат), Пензенская область в цифрах. Статистический справочник. Официальное издание. – Пенза 2019. – с. 11.
- Кондратьева О.Е., Росляков П.В., Гусева Т.В., Локтионов О.А. Основные задачи энергетических предприятий при получении комплексных экологических разрешений // Экология и промышленность России. – Москва – 2018. Т.22. № 4. – с. 41 – 45.
- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. ВНИРО. – М., 1999.
- Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового пользования. – М.: ДеЛли принт, 2004 – 328 с.
- Махутов Н.А., Гаденин М.М. Экологическая безопасность и экологическое наследие в проблемах национальной безопасности // Экология и промышленность России. – Москва – 2016. Т.20. № 3. – с. 47 – 51.
- Свинцов А.И., Абдулина А.Ш. Оценка надёжности инфраструктурных сетей водоснабжения и обеспечение населения питьевой водой при их отказе. – Москва, 2017 – № 6. – с. 13 – 18.
- О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году: государственный доклад, М. НИИ-Природа, 2017. – 300 с.
- Волкова М.А., Ведерникова Т.В. Очистка сточных вод с использованием реагентов различного происхождения. Вестник Пермского университета. Химия. 2012. Вып. 1 с. 19 – 26.
- Кирсанов В.В. Предложения по повышению эффективности водного мониторинга в РФ // Безопасность жизнедеятельности. – Москва, 2017. – № 12. – с. 40 – 42.
- Коркия Э.Д., Курбанов А.Р., Мамедов А.К. Концепт экологической культуры: «пределы роста» или резервы для развития // Экология и промышленность России. – Москва – 2017. Т.21. № 6. – с. 58 – 63.
- Митин И.В., Русаков В.С. Анализ и обработка экспериментальных данных. Учебно-методическое пособие для студентов младших курсов. - М.: Физический факультет МГУ, 2004 и 2006 гг.
- Мещеряков С.В., Половков С.А., Николаева А.В. Сравнительный анализ технологических схем флотационной очистки сточных вод на нефтеперерабатывающих станциях // Экология и промышленность России. – Москва – 2018. Т.22. № 6. – с. 10 – 16.
- Петросян В.С. Химическая безопасность воды // Чистая вода: проблемы и решения. – Москва – 2010. № 1. – с. 31 – 35.
- Почекаева Е.И., Попова Т.В. Безопасность окружающей среды и здоровье населения. Феникс, 2012. - 448 с.
- Свинцов А.П., Квартенко В.С. Водопотребление и водоснабжение в жилищном фонде // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. - № 10. – с. 35- 38.
- Темердашев З.А., Васильев А.М., Васильева Л.В. Влияние качества воды на формирование состава отложений в водогрейных системах закрытого типа // Экология и промышленность России. – Москва – 2016. Т.20. № 11. – с. 54 – 58.
- Темердашев З.А., Васильев А.М., Васильева Л.В. Реализация экологически обоснованного способа удаления труднорастворимых отложений в паровых котлах // Экология и промышленность России. – Москва – 2017. Т.21. № 8. – с. 33 – 37.
- Широков Ю.А. Экологическая безопасность на предприятии: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. – 360 с.
- Щербаков Ю.С. Физико – химические процессы в техносфере: учебное пособие. Новосибирск, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ФГБОУ ВПО «СибГУТИ»), 2013. 154 с.
- Хованский А.Д., Богачев И.В. Баян Е.М. Комплексная оценка экологической опасности предприятий и территорий // Экология и промышленность России. – Москва – 2016. Т.20. № 10. – с. 58 – 63.

Статья поступила в редакцию 20.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 699.82

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0023

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИКИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ С НАНОАЛЮМОСИЛИКАТАМИ

© 2020

Панфилова Марина Ивановна, кандидат химических наук,
доцент кафедры «Физика и строительная аэродинамика»

*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 (РУТ(МИИТ)), Российская открытая академия транспорта
(125190, Россия, Москва, Часовая ул., 22/2, e-mail: nZubrev@mail.ru)*

Леонова Данута Амброжьевна, старший преподаватель кафедры «Физика и строительная аэродинамика»
*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: 012340@mail.ru)*

Панфилова Ирина Сергеевна, директор ЦДД,
*Московский финансово-юридический университет
(115191, Москва, Серпуховский вал, д.17, корп. 1, e-mail: 012340@mail.ru)*

Петров Глеб Александрович, студент
*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: gpetrov962@gmail.com)*

Аннотация. Рассмотрена возможность вовлечения алюмосодержащих нанодобавок в качестве модификаторов структуры композитных растворов на этапе процесса отверждения. Большая эффективность впрыска может быть достигнута путем интеграции композитных растворов в тело фундамента. Исследовано структурообразование в композитных растворах с различным содержанием 3D-НКМ — нанокристаллическим модификаторам и алюмосиликатных нанотрубок в начальный период до перехода в отвержденное состояние. Определены оптимальные концентрации добавок, при которых скорость структурообразования достигает максимальных значений. Выявлено, что добавки концентраций алюмосиликатных нанотрубок ускоряют время отверждения композитного раствора в 1,3 раза по сравнению с 3D-НКМ — нанокристаллическим модификатором. Наибольший эффект по ускорению структурообразования в начальный период достигается при добавке 0,125% алюмосиликатных трубок к массе цемента. Определено, что при этом продолжительность потери текучести композитного раствора уменьшается по сравнению с контрольным образцом в три раза.

Ключевые слова: композитные растворы, наномодифицирующие алюмосодержащие добавки, 3D-НКМ — нанокристаллический модификатор, алюмосиликатные нанотрубки, структурообразование.

IMPROVEMENT OF PROPERTIES OF COMPOSITE SOLUTIONS WHEN USING 3D-NYC-NANOCRYSTALLINE MODIFIER

© 2020

Panfilova Marina Ivanovna, candidate of chemical Sciences,
associate Professor of the Department of «Physics and Building Aerodynamics»

*National research Moscow state University of civil engineering
(26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia, e-mail: 012340@mail.ru)*

Zubrev Nikolay Ivanovich, candidate of technical Sciences, professor of the Department
«Higher mathematics and natural Sciences»

*Russian University of transport (RUT (MIIT)), Russian open Academy of transport
(22/2 chasovaya str., Moscow, 125190, Russia, e-mail: nZubrev@mail.ru)*

Leonova Danuta Ambrogiana, senior lecturer at the Department of «Physics and Building Aerodynamics»
National research Moscow state University of civil engineering

(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: 012340@mail.ru)

Irina Sergeevna Panfilova, director of the CDD,
*Moscow University of Finance and law
(115191, Moscow, Serpukhov Val, 17, building 1, e-mail: 012340@mail.ru)*

Petrov Gleb Alexandrovich, student
*National research Moscow state University of civil engineering
(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: gpetrov962@gmail.com)*

Annotation. The possibility of involving aluminum-containing nanoparticles as modifiers of the structure of composite solutions to ensure the safety and durability of the rubble Foundation is considered. Greater injection efficiency can be achieved by integrating composite solutions into the Foundation body. Structure formation in composite solutions

with different content of 3D-НКМ — nanocrystalline modifiers of a and ANT tubes in time was studied. The optimal concentrations of additives at which the rate of structure formation reaches the maximum values are determined. It was found that additives of ANT concentrations accelerate the curing time of the composite solution by 1.3 times compared to 3D-НКМ - nanocrystalline ohms modifiers. The greatest effect on the acceleration of structure formation in the initial period is achieved by adding 0.125% of alumina-silicate tubes to the mass of cement. It is determined that the duration of the loss of yield of the composite solution is reduced by three times in comparison with the control sample.

Keywords: composite solutions, nanomodifiers aluminum-containing additives, bemit, aluminium tube, structure formation.

Введение. Усиление фундамента методом инъектирования – это метод, который несет в себе широкий спектр преимуществ. Смесь для гидроизоляции производится в виде растворов и способна надежно служить очень длительный срок, показатель защиты от влаги, грунтовых вод, коррозии и прочих разрушений находится на очень высоком уровне.

От качества работ по его установке зависит то, каким безопасным будет сооружение, а также, сколько прослужит в итоге здание. Для обеспечения безопасности и долговечности фундамента проводят инъектирование различных композитных растворов в тело фундамента. При нагнетании специальных растворов под давлением в поры, трещины и пустоты фундаментной конструкции, происходит повышение ее прочности, водонепроницаемости и морозостойкости.

Для этого предложено использовать гелцементы, содержащие помимо цемента бентонит, способный к поглощению и удерживанию излишков воды.

Введение ультрадисперсных модификаторов в бетон позволяет не только повысить прочностные характеристики, но и увеличить стойкость конструкций к коррозии, а, следовательно, и долговечность. Также при этом снижается расход цемента и добавок (например, пластификаторов) [1]. Из-за малых размеров фракций, наночастицы обладают уникальными физическими и химическими свойствами.

Нанодисперсный кремнезем способен увеличить прочность бетона до 2,5 раз. Используя наноразмерный диоксид кремния, можно снизить расход цемента на 25-30% без потери прочности изделия.

Установлено, что нанодисперсная добавка на основе шунгита приводит к ускорению гидратации цемента и повышению прочности цементного камня.

В качестве зарубежных примеров можно привести патенты, посвященные nanoармированию бетона УНТ, а также nanoармированию целлюлозными волокнами.

Ускорение гидратации и прочности цементного камня достигается при малых количествах нанодобавок, но при обязательном использовании ультразвука, используемого для предотвращения их агрегации, приводящих к увеличению их размеров при структурообразовании [2-6].

Целью данной работы является сравнение процессов отверждения композитного раствора, армированных (упрочненных) частицами малого размера на основе алюминия.

Материалы и результаты исследования. В работе использовали цемент марки 500, бентонит марки

П2Т2А, обладающий высоким содержанием монтмориллонита (70%) и большой обменной емкостью (113,3 мг-экв/100г), добавки 3D-НКМ — нанокристаллический модификатор (3D-НКМ) и алюмосиликатные нанотрубки (АНТ). Водоцементное отношение составляло 2:1. Содержание нанодобавок изменяли от 0 до 1% к массе цемента.

Структура 3D-НКМ соответствует формуле $AlO-OH$. Основные технологические свойства 3D-НКМ приведены в таблице 1 [7-14].

Таблица 1 – Основные технологические свойства 3D-НКМ

Внешний вид	Размер кристаллов	Размер частиц	Насыщенная плотность	Массовая доля воды	Пористость	Массовая доля примесей, %	Дисперсный состав по фракциям, %
высокодисперсный порошок белого цвета	10 нм	140 нм	600 кг/м ³	не более 1,5%	не более 30%	SiO ₂ - 0,05; Fe ₂ O ₃ - 0,05; Na ₂ O - 0,05	1÷5 мкм - 55; 5÷10 мкм - 35; 10÷20 мкм - 10; >20 мкм - 0

Так как преимущественно в дисперсном составе 3D-НКМ находятся во фракции порядка 1-5 мкм, то следует полагать, что добавка такого модификатора к композитной системе может привести к ускорению гидратации и получению более плотной упаковки цементного камня, за счет заполнения пустот.

Полюе алюмосиликатные нанотрубки состоят из скрученной спирали слоев алюмосиликата с внутренним диаметром порядка 15 нм, содержащий кроме воды оксиды кремния и алюминия. Их содержание достигает 75%. Высокая каталитическая способность этих трубок может быть объяснена за счет наличия на внутренней поверхности оксида алюминия с отрицательным зарядом, а на внешней - оксида кремния с положительным зарядом (рис. 1) [13].

Самым важным для композитного раствора является продолжительность потери текучести системы. Этот показатель обычно определяется геолого-гидрологическими условиями закрепляемых грунтов, а в обычных условиях должна составлять около одного часа (согласно ГОСТ 10178-76).

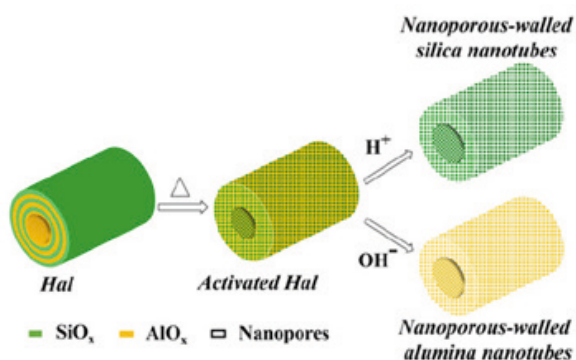


Рисунок 1 - Структура АНТ

Исследовали структурообразование в композитных растворах с различным содержанием 3D-НКМ (концентрацию варьировали от 0 до 1% к массе цемента) и АНТ (с концентрацией 0 до 0,4% к массе цемента). Композитный раствор готовили смешиванием бентонита с добавками воды, затем добавлением в него цемента и жидкого стекла. Исследования по изменению прочности проводили для определения времени отверждения. Изменение пластической прочности определяли на приборе Ребиндера с конусом в течение трех часов через каждые 10 мин. Ранее были построены графики изменения прочности композитных растворов с различными концентрациями АНТ и 3D-НКМ. Время схватывания композитной смеси определяли по пересечению кривых, приведенных на рисунке 2, с прямой соответствующей прочности потери текучести, а именно $2,5 \cdot 10^{-3}$ МПа. Установлено, что наибольшее снижение время схватывания было отмечено при введении 3D-НКМ при концентрации 0,208% к массе цемента, что соответствует времени отверждения примерно 75 минут, а для АНТ – 60 мин и достигается при содержании добавки 0,125% (рис.2,3).

На рисунке 2 показана кинетика структурообразования композитного раствора от оптимального содержания 3D-НКМ и АНТ в смеси для времени схватывания согласно ГОСТ 10178-76.

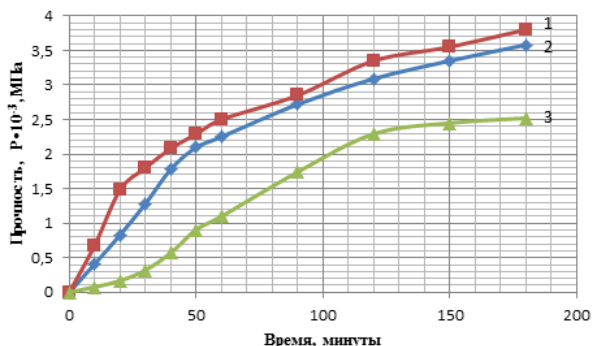


Рисунок 2 - Кинетика изменения прочности композитного раствора при оптимальном содержании АНТ и 3D-НКМ %, к массе цемента
 1-0,125% (АНТ); 2 – 0,208% (3D-НКМ) %; 3-0,000%

Кинетику структурообразования рассчитывали на основе ее начальной скорости из рисунка 2 по касательной проведенной к кривым 1 и 2 и вычислению тангенса угла. Полученные данные приведены на рисунке 3.

Рисунок 3 – Изменения скорости структурообразования во времени при различных нанодобавках к массе цемента (изменения скорости структурообразования во времени при различных нанодобавках к массе цемента 1 – 0,208% (3D-НКМ); 2-0,125% (АНТ)

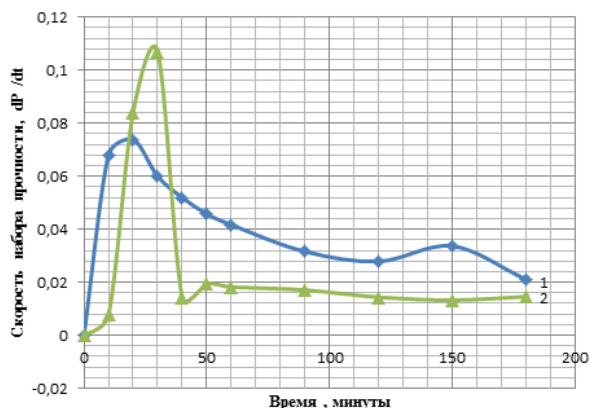


Рисунок 3 – Изменения скорости структурообразования во времени при различных нанодобавках к массе цемента (изменения скорости структурообразования во времени при различных нанодобавках к массе цемента 1 – 0,208% (3D-НКМ); 2-0,125% (АНТ)

Увеличение скорости структурообразования при добавках 3D-НКМ 0,208% к массе цемента и соответственно АНТ-0,125 % к массе цемента можно объяснить соответствием наполнения оптимального соотношения его микрочастиц в пространстве цементного камня. На основе анализа данных рисунка 3 определено, что наибольшее снижение продолжительности схватывания композитного раствора составляет 60 мин и достигается при содержании добавки АНТ-0,125%. При этом данный показатель уменьшается почти в три раза по сравнению с образцом, не содержащим нанодобавок (рис. 4).

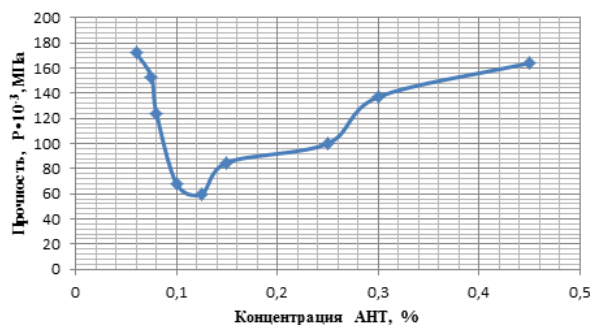


Рисунок 4 – Изменение продолжительности схватывания композитной смеси от добавок АНТ

Закключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что наносодержащие добавки ускоряют гидратацию клинкерных составляющих цемента, что приводит к ускорению структурообразования композитных растворов и, как следствие, уменьшению сроков потери их текучести [15-20].

Определены оптимальные концентрации добавок, при которых скорость структурообразования достигает максимальных значений. Выявлено, что добавки концентраций АНТ ускоряют время отверждения композитного раствора в 1,3 раза по сравнению с

3D-НКМ.

Оказалось, что наибольший эффект по ускорению структурообразования в начальный период достигается при добавке 0,125% к массе цемента алюмосиликатных трубок. Вероятно, это можно объяснить за счет особенности их строения, обеспечивающее наибольшую адгезию при гидратации в пространстве формирования цементного камня.

Установлено, что при концентрации АНТ 0,125% к массе цемента скорость структурообразования имеет максимальное значение и время схватывания составляет 60 мин, что соответствует ГОСТу. Введение данной добавки приводит к повышению прочности тампонажных растворов и может быть рекомендована для укрепления подземных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Sanchez, F. Nanotechnology in concrete – a review/ F. Sanchez, K. Sobolev // Construction Building Materials. - 2010. - Vol.24. - С.2060-2071
2. Бричка, С. Я. Природные алюмосиликатные нанотрубки: структура и свойства / С. Я. Бричка // Наноструктурное материаловедение. – 2009. – № 2. – С. 40 – 53.
3. Рентгенографический анализ галлоизитных нанотрубок, модифицированных оксидом церия (IV)/ Л. Ю. Котел, А. В. Бричка, А. Л. Петрановская, С. Я. Бричка. //II Всеукраинская конференция молодых ученых «Современное материаловедение: материалы и технологии». -Киев, 2001, С.125.
4. 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.
5. Панфилова, М.И. Вопросы повышения прочностных характеристик с применением инъекционных растворов / Панфилова М.И., Фомина М.В. // Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в строительстве и подготовке отраслевых инженерных кадров». Сб.трудов II регионального научно-практического семинара. -Смоленск, 2011. С. 314
6. Бурьянов, А.Ф. Эффективные гипсовые материалы и изделия с использованием ультрадисперсных алюмосиликатных добавок и углеродных наномодификаторов. Автореф. дис. докт. тех. наук /А.Ф.Бурьянов. -Москва, 2012.-38 с.
- 7.Чалый, В. П. Гидроокиси металлов. Закономерности образования, состав, структура и свойства: монография /В.П. Чалый. - Киев: Наукова думка, 1972. – 160 с.
8. Shelley, D Boehmite in syenite from NewZealand /D. Shelley, D. Smale, A. J. Tulloch // Mineralogical Magazine.- 1977. v.41. -P. 398-400.
9. Бухало, А. Б. Теплоизоляционный неавтоклавный пеногазобетон с нанодисперсными модификаторами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук/ А.Б.Бухало. – Белгород, 2010.- 27 с.
10. Назаров, В.В. Синтез и коллоидно-химические свойства гидрозоль 3D-НКМ — нанокристаллическим модификаторам а / В.В. Назаров, О.Б. Павлова-Веревкина // Коллоидный журнал. – 1998. – Том 60; №6. – С.797–807.
11. Akselrod, M.S. Optically stimulated luminescence of Al2O3/M.S. Akselrod // Radiat. Meas. – 1996. – Vol. 29. – P.391–399.
12. Sakka, S. Hand book of sol-gel science and technology processing characterization and applications. Clawer academic publishers Boston.-2005. - 680 pp.
13. Jones, R.W. Sol preparation of ceramic and glasses/ R.W. Jones // Metal and Matireals. - 1988. - Vol. 4. - №12. P. 748-751.
14. Витязь П.А., Ильюшенко А.Ф., Судник Л.В., Мазалов Ю.А., Берш А.В. Функциональные материалы на основе наноструктурированных порошков гидроксида алюминия. – Минск: Беларус. навука, 2010. -183 с.
15. Halloysite Clay Nanotubes for Loading and Sustained Release of Functional Compounds./ Y. Lvov, W.Wang., L. Zhang, R. Fakhruillin // Adv. Mater. — 2016. Vol. 28 № 6 — P. 1227–1250.
16. Zhang X. Ultrastrong, stiff, and lightweight carbon-nanotube fibers/ X. Zhang, Q. Li, T. G Holesinger // Advanced Materials. – 2007. – V. 19, N 23. – С. 4198–4201.
17. Strong luminescence of solubilized carbon nanotubes/ J. E. Riggs, Z. X. Guo, D. L. Carro 11, Y. P.Sun. // Journal of American Chemical Society. – 2000. – V. 122, N 24. – P. 5879–5880.
18. Jong, K. P. Carbon nanofibers: catalytic synthesis and applications/ K. P. D. Jong, J. W. Geus //Catalysis Review :Science Engineering. – 2000. – V. 42, N 4. – P. 481–510.
19. 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.
20. Панфилова, М.И. Модифицированные композиционные системы / М. И. Панфилова, Н. И. Зубрев, М. В. Фомина // Интернет-вестник ВолгГАСУ. -2014. -№2(33). - С.9.

Статья поступила в редакцию 18.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 629.735.33

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0024

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ УТОМЛЯЕМОСТЬЮ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА

© 2019

Еникеев Руслан Валериевич, кандидат технических наук, ведущий аудитор отдела обеспечения качества
ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ»

(142015 г. Домодедово, территория Аэропорт Домодедово, стр. 6/1, e-mail r.v.enikeev@yandex.ru)

Рыбалкина Александра Леонидовна, кандидат технических наук,

доцент кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности

Московский государственный технический университет гражданской авиации

(125993 г. Москва, Кронштадтский б-р, д. 20, e-mail rybalkina@list.ru)

Аннотация. С проблемой утомляемости инженерно-технического персонала (ИТП) при выполнении технического обслуживания воздушных судов (ТО ВС) авиация сталкивается уже на протяжении многих лет, однако должного внимания ее решению до сих пор не уделено. Такому положению дел способствует специфичность деятельности по ТО ВС, при которой создаются условия для сочетания разного рода факторов, вызывающих утомление. В статье приведен краткий обзор по тематике утомляемости ИТП, включая влияние на безопасность полетов и показана необходимость управления утомляемостью. Выполнен анализ российского и зарубежного авиационного законодательства на предмет наличия требований к управлению утомляемостью при ТО ВС. Авторами проведен опрос ИТП в отношении утомляемости при техническом обслуживании воздушных судов с помощью разработанного для этой цели опросного листа. Анализ полученных результатов опроса позволил оценить влияние работы в состоянии утомления на деятельность по техническому обслуживанию, при этом большинство опрошенных отмечают ошибки в качестве наиболее вероятных последствий. Проанализировано влияние работы в состоянии утомления на показатели работоспособности. Получены зависимости уровня утомляемости ИТП от суммарной продолжительности сна и от продолжительности рабочего времени с учетом дополнительных выходов на работу и переработки. Также определены факторы, обуславливающие повышенную утомляемость ИТП в зависимости от графика работы. Результаты опроса позволили получить данные для разработки предлагаемой авторами методики управления утомляемостью ИТП. Методика состоит из опросного листа, в котором персоналу необходимо отметить значения показателей утомляемости, и критериев оценки. По результатам оценки принимается решение о мерах управленческого воздействия, включая ограничение деятельности и отстранение от выполнения работ.

Ключевые слова: утомляемость, человеческий фактор, безопасность полетов, техническое обслуживание воздушных судов.

MAINTENANCE STAFF FATIGUE MANAGEMENT METHODOLOGY

© 2019

Ruslan Valerievich Enikeev, candidate of Technical Science, Quality Assurance Department Lead Auditor
S 7 ENGINEERING LLC

(142015, Domodedovo, bld. 6/1 Domodedovo Airport estate, e-mail r.v.enikeev@yandex.ru)

Alexandra Leonidovna Rybalkina, candidate of Technical Science,

associate Professor of the Flight and Life Safety Department

Moscow State Technical University of Civil Aviation

(125993, Moscow, 20 Kronshtadtsky blvd, e-mail rybalkina@list.ru)

Abstract. Aviation has been faced with the problem of maintenance staff fatigue for many years, but its solution has not yet been given due attention. The specificity of aircraft maintenance activities contributes to such state of affairs, under which conditions are created for a combination of various kinds of factors causing fatigue. The article provides a brief overview on the topic of maintenance staff fatigue, including the impact on flight safety, and shows the need for fatigue management. The analysis of Russian and foreign aviation legislation for the presence of requirements for fatigue management during aircraft maintenance is performed. The authors conducted a survey of maintenance staff regarding effects of fatigue during aircraft maintenance using a created questionnaire. An analysis of the survey results made it possible to assess consequences of work in a state of fatigue, with most respondents reporting errors as the most likely consequences. Fatigue impact on efficiency is analyzed. The dependences of the level of maintenance staff fatigue on the total duration of sleep and on the working hours subject to overtime work were obtained. The factors increasing maintenance staff fatigue depending on the work schedule are also identified. The survey results allowed to obtain data for the development of the maintenance staff fatigue management methodology in the article. The methodology consists of a questionnaire, in which staff notes the level of fatigue, and assessment criteria. Based on the results of the assessment, a decision is made on management measure, including limiting activities and suspension.

Keywords: fatigue, human factor, flight safety, aircraft maintenance.

Введение. Утомляемость считается одной из главных опасностей, относящихся к человеческому фактору, так как большинство аспектов способности работника к выполнению обязанностей подвержены ее влиянию. Утомление является предположительной или сопутствующей причиной в 10% авиационных происшествий [1].

Утомление возникает при длительной или интенсивной рабочей нагрузке, временно нарушая психические и физиологические функции работника, снижая качество и эффективность труда [2–7]. У каждого человека существует определяемый утомлением и его последствиями предел продуктивности [8–12].

Авторами было проведено исследование утомляемости инженерно-технического персонала (ИТП) методом опроса среди 93-х работников одной из организаций по техническому обслуживанию воздушных судов. Результаты опроса показали следующее:

1. 80% опрошенных отмечают возникновение ошибок при работе уставшим, 34% считают, что работа уставшим является угрозой безопасности полетов (БП), 27% - угрозой здоровью и жизни работников, 11% опрошенных отмечают финансовые потери организации в результате задержки вылета ВС по результатам ТО.

2. Утомляемость приводит к снижению показателя работоспособности:

- ухудшение внимания отметили 78% опрошенных;

- снижение активности - 51%;
- ухудшение настроения - 34%;
- увеличение времени реакции - 33%;
- ухудшение памяти - 31%;
- ухудшение способности к решению задач - 20%;
- влияние на поведение (склонность к риску, игнорирование процедур контроля) - 13%;
- физиологические проявления (влияние на речь, ухудшение мелкой моторики) - 11%.

3. Утомляемость ИТП в первую очередь связана с продолжительностью рабочего времени и продолжительностью сна. При работе более 60 часов в неделю 40% опрошенных испытывают повышенную сонливость и усталость, 30% - сильную усталость и проблемы с вниманием (рис. 1).

Из работников, находящихся в состоянии бодрствования 20 часов и более, 45% отметили сонливость и среднее утомление, 55% - сильное утомление и склонность к потере внимания.

Также большое значение имеет накопленная усталость [13]. При суммарной продолжительности сна за 3 суток до 18 часов 36% опрошенных испытывают повышенную сонливость и усталость, 14% - сильную усталость и проблемы с вниманием; при суммарной продолжительности сна за 3 суток 19-22 часа 35% опрошенных испытывают повышенную сонливость и усталость, 13% - сильную усталость и проблемы с вниманием (рис. 2).

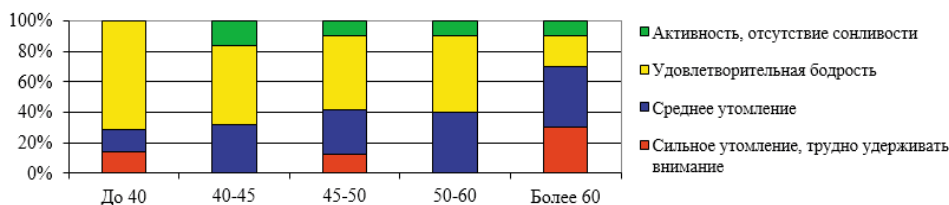


Рисунок 1 - Утомляемость ИТП в зависимости от продолжительности рабочего времени с учетом дополнительных выходов на работу и переработки (% опрошенных, отметивших наличие или отсутствие утомления)

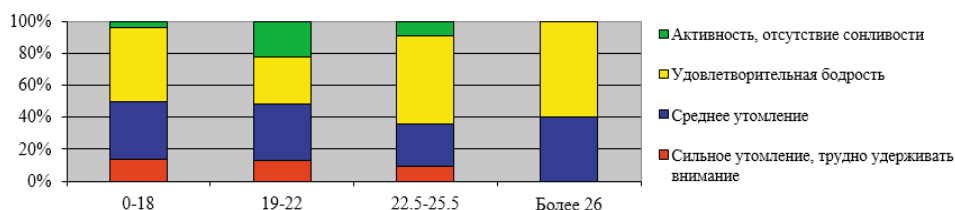


Рисунок 2 - Утомляемость ИТП в зависимости от суммарной продолжительности сна (час.) за 3 суток (% опрошенных, отметивших наличие или отсутствие утомления)

4. Повышенная утомляемость может быть связана с сокращением перерывов. ИТП в 16% случаев работает без перерывов, каждый час перерывы бывают у 33%, каждые 1,5 часа - у 16%, каждые 2 часа - у 15%, каждые 3 часа и более - у 20%. При этом в большинстве случаев продолжительность перерыва составляет 5-15 минут, в отдельных случаях - 30 мин-1,5 часа.

5. На утомляемость ИТП также могут оказывать влияние другие факторы, связанные с особенностями выполняемой работы или условиями труда. В первую очередь отмечаются: объем работ; проблемы со сном

(например, бессонница, недостаток сна, плохое качество сна); рабочие условия (освещение, температурные условия, шум, эргономика рабочего места и т.д.); скучные/ монотонные задачи; сроки работ; сложность работ; отсутствие времени на отдых; график работы (для четырехсменной круглосуточной работы «день-ночь»).

Было выявлено, что сильная утомляемость ИТП, приводящая к ошибкам, обуславливается следующими факторами:

- средняя еженедельная продолжительность рабо-

чего времени (с учетом дополнительных выходов на работу и переработки) более 47 часов;

- работа находясь в состоянии бодрствования более 20 ч.;

- суммарная продолжительность сна менее 2 ч. за сутки;

- суммарная продолжительность сна за 3 суток 18 ч и менее.

Повышению утомляемости ИТП способствуют следующие факторы:

- дорога на работу/ с работы более 2 ч;

- проблемы со сном: прерывание сна больше, чем на 15 мин;

- отсутствие перерывов во время работы или их сокращение (больше 3ч. без перерыва, перерывы по 10 мин и менее).

Материалы исследования. Результаты проведенного опроса подтверждают необходимость управления утомляемостью ИТП. Однако, на текущий момент вопросам утомляемости при ТО ВС не уделено должного внимания ни со стороны ИКАО, ни со стороны авиационного законодательства (как российского, так и зарубежного). Например, в требованиях ФАП-285 [13] слова утомление, усталость не упоминаются. В качестве другого примера обратимся к зарубежным требованиям к деятельности по ТО ВС.

Рассмотрим требования *OTAR Part 145* [14] Авиационных властей Бермудских островов (*BCAA*), чья территория используется для регистрации основной массы ВС иностранного производства, эксплуатируемых в РФ. Аналогично, про утомляемость (*fatigue*) ничего не сказано. Хотя пункт 39.57 (d) (2) *OTAR Part 39* [15] требований *BCAA* к организациям, управляющим летной годностью, устанавливает необходимость включать в договор на ТО ВС положения в отношении обязательного наличия у соответствующего поставщика услуг системы управления утомляемостью.

При этом деятельность по управлению утомляемостью летного состава и авиадиспетчеров активно ведется.

Косвенно, влияние утомляемости на ИТП может быть снижено посредством реализации имеющихся требований к планированию деятельности по ТО ВС, к помещениям, оборудованию и условиям выполнения работ, а также применения системы управления безопасностью полетов (СУБП). Но на практике этого оказывается недостаточно для устранения всех факторов, способствующих утомляемости ИТП.

Надо отметить, что ситуация постепенно меняется. В документах некоторых зарубежных авиационных властей содержатся положения, реализация которых приводит к необходимости разработки методики управления утомляемостью ИТП. Например, агентство по безопасности авиационной деятельности Европейского союза (*EASA*), действующий сертификат соответствия требованиям которого поддерживают многие организации в РФ (например, а/к Аэрофлот, *S7 Technics*, Восток Техникал Сервис, Волга-Днепр Техник, а/к Россия, Газпромавиа, а/к Ав-

рора, а/к Урал, и т.д.) [16]. В настоящее время требования *EASA Part-145* [17] не обязывают организации по ТО ВС иметь систему управления утомляемостью. В скором времени этот недостаток будет исправлен. Подтверждение этому можно найти в документе *NPA (Notice of Proposed Amendment)* [16], содержащем описание планируемых к реализации изменений требований *EASA*. В нем предъявляются требования к управлению утомляемостью персонала для организаций по ТО ВС. Кроме самих требований (*Part*) изменения относятся к приемлемым методикам подтверждения соответствия (*AMC*) и руководящим материалам (*GM*).

В первую очередь в раздел требований (*Part 145.A.47*), относящийся к планированию производства, предлагается внести дополнение в части учета риска утомляемости ИТП. В проекте изменений *AMC* декларируется, что утомляемость является одним из значимых факторов, способствующих совершению ошибок при ТО ВС. Для управления риском, относящегося к утомляемости ИТП, организациям по ТО ВС предлагается разработать и применять соответствующую политику и процедуры, установить нормы труда и отдыха в соответствии с национальным законодательством, применять имеющуюся систему предоставления данных для информирования о выявленных факторах опасности, связанных с утомляемостью, проводить соответствующие обучения и популяризировать вопросы управления утомляемостью. При этом обращается внимание, что предлагаемые изменения не должны препятствовать организации в исключительных случаях использовать возможность дополнительных выходов ИТП на работу, если это не противоречит национальному законодательству (в пределах максимально допустимого количество рабочих часов), если имеется согласие соответствующего работника и проведена оценка риска. Также в подобной ситуации необходимо иметь записи о том, каким образом будет снижен риск повышенной утомляемости работника. В качестве примеров мероприятий по снижению такого рода риска приводятся следующие: дополнительный контроль или независимая инспекция, допуск к выполнению только тех работ по ТО ВС, которые не относятся к критическим, увеличение количества перерывов в работе, предоставлять возможность дремать в установленный период рабочего времени.

Другим примером рассмотрения вопросов утомляемости ИТП может служить документ [18], опубликованный на официальном сайте авиационных властей Австралии (*CASA*). Помимо теоретических основ влияния утомляемости на ИТП и результатов проведенных исследований в документе приводятся примеры стратегий по управлению утомляемостью. Особого внимания заслуживает стратегия постепенных/ прогрессивных ограничений (*progressive restrictions*). Идея заключается в том, чтобы исключить участие ИТП, находящегося в состоянии утомления на уровне выше приемлемого, в работах по ТО, относящихся к критическим. В качестве примера приводится опыт

некоторых компаний, которые применяют данную стратегию. А именно, если ИТП находится на работе более 12 часов он не должен допускаться к оформлению свидетельства о выполнении ТО ВС или к выполнению опробования двигателей ВС. Если ИТП находится на работе более 16 часов он не допускается к работам, относящимся к критическим. Если уровень утомления превышает допустимые значения – ИТП отстраняется от работ, т.к. его деятельность угрожает БП.

Рассмотренные примеры подтверждают необходимость управления утомляемостью ИТП, но не содержат методики его реализации. Остается открытыми вопросы: Какие критерии допустимости утомления применять? Каким образом определять текущий уровень утомления ИТП? Какие работы могут быть выполнены ИТП в состоянии определенного текущего уровня утомления, а какие нет?

Отчасти ответы на указанные выше вопросы можно найти в документе [19], опубликованном авиационной администрацией США (FAA). В документе [19] проведен анализ имеющихся подходов к управлению утомляемостью при ТО ВС и приводятся примеры их применения на практике в авиационной деятельности, включая авиакомпании и организации по ТО. Документ [19] интересен еще и тем, что в нем достаточно подробно рассмотрены цели управления риском утомляемости. Обозначены три основные цели: уменьшение уровня утомления, испытываемого персоналом при выполнении должностных обязанностей, снижение количества или выявление ошибок, связанных с утомляемостью, а также минимизация ущерба, связанного с такого рода ошибками. В качестве примера мероприятий для достижения первой цели приводятся определение максимально допустимого количества рабочих часов и пересмотр графика рабочих смен. К мерам, относящимся к достижению второй цели, могут относиться снижение вероятности совершения ошибки утомленным ИТП или перехват ошибки в момент совершения посредством использования рабочих перерывов и применения соответствующих дополнительных операций/ работ по ТО. Третья цель может быть достигнута путем применения политики, предотвращающей выполнения критических работ по ТО одним работником в состоянии утомления. Но единая методика управления утомляемостью ИТП в документе [20] не представлена.

Таким образом, актуальность вопроса разработки методики управления утомляемостью ИТП не вызывает сомнения. Далее авторами представлены предложения по созданию такой методики.

Результаты исследования. Предлагаемая методика управления утомляемостью ИТП состоит из опросного листа, в котором персоналу необходимо отметить значения показателей утомляемости, а также критериев оценки. Опросный лист не учитывает утомляемость во время служебных командировок ИТП.

Опросный лист включает вопросы, связанные с временем нахождения в состоянии бодрствования,

продолжительностью сна за сутки и 3 суток (72 ч.), временем засыпания и пробуждения, прерывался ли сон и на сколько, средней еженедельной продолжительностью рабочего времени (с учетом дополнительных выходов на работу и переработки), временем в дороге на работу/ с работы, возможностью вздремнуть в дороге и как долго, возможностью делать перерыв при выполнении должностных обязанностей, с какой периодичностью и сколько времени в среднем длится перерыв. Также предлагается описать состояние своего организма: активность, отсутствие сонливости; скорее бодр, чем сонлив; склонность к потере внимания; быстрая реакция, но не на максимуме; скорее сонлив, чем бодр; сильное утомление, трудно удерживать внимание; удовлетворительная бодрость; среднее утомление. Помимо этого предлагается указать факторы, которые наиболее часто приводят ИТП к утомлению: рабочие условия (освещение, температурные условия, шум, эргономика рабочего места, и т.д.); проблемы со сном (например, бессонница, недостаток сна, плохое качество сна; ответственность, связанная с должностными обязанностями; взаимоотношения с коллегами; взаимоотношения с начальством; отсутствие времени на отдых; объем работ; сроки работ; сложность работ; обеспеченность ресурсами; пассивная деятельность; скучные/ монотонные задачи; влияние циркадных биологических часов и график работы).

Критерии для оценки представлены ограничениями на выполнение работ по ТО ВС, в случае, если значения показателей, представленных в таблицах 1 и 2 показывают наличие утомления.

В случае, если критерии соответствуют таблице 1, требуется полное отстранение работника от работ по ТО ВС.

Таблица 1 - Критерии для оценки состояния утомления

Критерий	Значение
Сколько времени Вы уже находитесь в состоянии бодрствования к текущему моменту?	Более 20 ч
Какова суммарная продолжительность Вашего сна за сутки?	Менее 2 ч

В случае, если критерии соответствуют таблице 2, требуется отстранение от работ, связанных с БП или дополнительный контроль качества всех работ.

Таблица 2 - Критерии для оценки состояния утомления

Критерий	Значение
Сколько времени занимает Ваша дорога на работу/ с работы?	Более 2 ч
Прерывался ли сон?	Да, более 15 мин
Какова суммарная продолжительность Вашего сна за 3 суток (72 ч) до текущего момента?	18 ч и менее
Какая средняя еженедельная продолжительность Вашего рабочего времени (с учетом дополнительных выходов на работу и переработки)?	Более 47 ч
Исходя из текущего объема работ, имеете ли Вы возможность каждый час делать перерыв при выполнении должностных обязанностей?	Без перерыва или более 3ч по 10 мин и менее

Отстранение от работ, связанных с БП необходимо в случаях, если:

- четыре и более критерия соответствует таблице 2;
- три критерия соответствует таблице 2 в сочетании с ответами: скорее сонлив, чем бодр или среднее утомление;
- два и более критерия соответствует таблице 2 в сочетании с ответами: склонность к потере внимания или сильное утомление, трудно удерживать внимание.

Контроль качества всех работ необходим в случаях, если:

- два или три критерия соответствует таблице 2;
- один критерий соответствует таблице 2 в сочетании с ответами: скорее сонлив, чем бодр или среднее утомление.

Также при опросе могут быть выявлены другие факторы, приводящие к утомлению, такие как рабочие условия, объем работ, сроки работ, сложность работ и т.д.

Каждый из этих факторов необходимо отдельно рассматривать и разрабатывать мероприятия по снижению утомляемости ИТП.

Апробация результатов в одной из организаций показала, что полное отстранение от работ необходимо для 10% работников, отстранение от работ, связанных с БП необходимо для 5% работников, контроль качества всех работ необходим для 36% работников.

Заключение. Проблема влияния утомляемости ИТП при выполнении ТО ВС продолжает оставаться актуальной. Объем работ, сменный график, включая работу в ночное время, повышенные нагрузки и сжатые сроки выполнения ТО ВС способствуют тому, что утомляемость является одним из основных причинных факторов ошибок авиационного персонала в организациях по ТО ВС. При этом ни российское, ни зарубежное авиационное законодательство на данный момент не устанавливают требований к управлению утомляемостью ИТП. Такая ситуация не способствует снижению количества авиационных событий, напротив, негативно сказывается на уровне БП.

Анализ данных, полученных из доступных источников, позволяет судить о наличии положительной тенденции в рассматриваемой проблематике. А именно, о понимании необходимости управления утомляемостью ИТП при ТО ВС. Приведенные в статье результаты исследования позволяют сделать еще один шаг на пути к снижению общего количества ошибок ИТП.

Предлагаемая методика управления утомляемостью учитывает практический опыт ИТП, информация о котором получена посредством проведенного опроса авиационных специалистов. Результаты опроса позволили сформировать критерии для оценки состояния утомления ИТП, дающие возможность принимать превентивные управленческие решения, включая полное отстранение от работ по ТО ВС, отстранение от работ, связанных с БП, и дополнительный контроль качества всех работ.

Более широкая апробация предлагаемой методики

и дальнейшая ее доработка позволит восполнить имеющийся пробел и, следовательно, повысить уровень БП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бодров В.А., Орлов В.Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой. - М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. - 288 с.
2. Воробьев В.В. Человеческий фактор [Текст] : тексты лекций / Р.В. Еникеев, А.П. Козловский, Н.И. Николайкин, С.Е. Прозоров, А.Л. Рыбалкина, В.А. Рябинин, Е.А. Сусалев, А.В. Чунгул, В.Д. Шаров. Под ред. д-ра техн. наук, проф. Воробьева В.В. - М: ИД Академии Жуковского, 2018. - 80 с.
3. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами: Учебное пособие / В.Л. Лапин, В.М. Попов, Ф.Н. Рыжков, В.И. Томаков; Курск, гос. техн. ун-т. Курск, 1995.
4. Козлов В.В. Безопасность полетов: от обеспечения к управлению. - М.: 2010.
5. Овчаров В.Е. «Человеческий фактор» в авиационных происшествиях (методические материалы). - М.: Полиграф, 2005.
6. Человек и безопасность полетов: Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора / Под ред. В.А.Пономаренко, А.В.Чунгула. - М.: Когито-Центр, 2013.
7. Рыбалкина А.Л. К вопросу о возможности использования принципов менеджмента качества при управлении человеческим фактором. Идеи К.Э Циолковского в инновациях науки и техники. Материалы 51-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. - Калуга: Издатель Захаров С.И. («Сер-На»), 2016. - с. 198-200.
8. Dawson, D. (2000). Shift Maintenance: The role of fatigue in human error. Proceedings of the 14th Annual Human Factors in Aviation Maintenance Symposium, Vancouver, BC.
9. Reason, J., & Hobbs, A. (2003) Managing maintenance error: A practical guide. Ashgate: Aldershot.
10. Stewart, S., & Holmes, A. (2008, April). Limitations on hours of work and fatigue risk management. Proceeding of the 9th Society of Petroleum Engineers International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Nice, France.
11. Jauregui, F., & Hosey, P. (2005). Extended work hours, maintenance. West Sussex, UK: International Federation of Airworthiness.
12. ICAO Doc 9966. Руководство для регламентирующих органов: системы управления рисками, связанными с утомляемостью, издание 1, 2012 г.
13. Федеральные авиационные правила «Требования к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим техническое обслуживание Гражданских воздушных судов. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих техническое обслуживание гражданских воздушных судов, требованиям Федеральных авиационных правил», от 25 сентября 2015 г. №285.
14. Overseas Territories Aviation Requirements (OTARs). OTAR Part 145. Aircraft maintenance organisation approval. Issue 8, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airsafety.aero/getattachment/a7811163-cd36-45e9-b424-9b2d86fec80/Part-145-Aircraft-Maintenance-Organisation-Approva.aspx> (дата обращения: 08.10.2019).
15. Overseas Territories Aviation Requirements (OTARs). OTAR Part 39. Continued Airworthiness Requirements. Issue 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airsafety.aero/getattachment/e33983dd-edbe-410c-853c-e1ac230be083/Part-39->

Continued-Airworthiness-Requirements-Printable-Version.aspx
(дата обращения: 17.12.2019).

16. Foreign Easa Part-145 Valid Approvals List Of Non-Bilateral Easa Part-145 Approved Organisations [Электронный ресурс]. URL: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/aircraft-products/continuing-airworthiness-organisations/foreign-part-145-organisations> (дата обращения: 08.10.2019).

17. Commission Regulation (EU) No 1321/2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1557410928046&uri=CELEX:02014R1321-20190305> (дата обращения: 05.11.2019).

18. Civil Aviation Safety Authority (CASA) of Australia. (2013). Safety Behaviours: Human Factors resource guide for Engineers.

19. Hobbs, A., Bedell Avers, K., & Hiles, J. (2011). 'Fatigue Risk Management in Aviation Maintenance: Current Best Practices and Potential Future Countermeasures' (Report No. DOT/FAA/AM-11/10), Washington, DC: Federal Aviation Administration, Office of Aerospace Medicine. [Электронный ресурс]. URL: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201110.pdf (дата обращения: 22.12.2019).

Статья поступила в редакцию 25.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 351.814.28

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0025

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО ИНФОРМИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ О ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ВЫСОТНОГО ПОЛЕТА

© 2020

Марков Николай Александрович, научный сотрудник

АО «Научно-производственное объединение «Топаз»,

(129626, Москва, 3-я Мытищинская улица, дом 16, e-mail: nikolya.markov.1987@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения безопасности в чрезвычайных ситуациях высотного полета путем информирования пассажиров о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени. Информирование осуществляется путем предъявления пассажирам оценки резервного времени сохранения сознания, рассчитываемой по величине барометрического давления. Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете разработана в двух вариантах: на основе авиационной кислородной маски и на основе авиационного пассажирского кресла. Ориентируясь на значения резервного времени сохранения сознания, на световое и звуковое информирование, пассажир воздушного судна в чрезвычайной ситуации высотного полета может адекватно оценивать реальную опасность пребывания без кислородной маски, например, при осуществлении действий по оказанию помощи другим пассажирам. Информированность пассажиров о реальной опасности потери сознания в экстремальных условиях высотного полета, кроме всего, способствует сохранению спокойствия, что имеет существенное значение для обеспечения безопасности в чрезвычайной ситуации. Область применения разработанных технологий персонализированного информирования пассажиров воздушных судов о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета может быть распространена на весь спектр практических задач, связанных с обеспечением безопасности жизнедеятельности деятельности человека в условиях, сопряженных с воздействием гипоксической гипоксии.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация на воздушном транспорте, разгерметизация салона воздушного судна, высотный фактор полета, резервное время сохранения сознания, персонализированное информирование о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации.

TECHNOLOGIES FOR PERSONAL INFORMATION OF AIRCRAFT PASSENGERS ABOUT POTENTIAL HAZARD OF EMERGENCY SITUATION IN HIGH-LEVEL FLIGHT

© 2020

Markov Nikolay Alexandrovich, researcher,

JSC "Scientific and Production Association" Topaz ",

(129626, Russia, Moscow, 12 Mytishchinskaya street, house 16, e-mail: nikolya.markov.1987@mail.ru)

Annotation. The article discusses the problem of increasing safety in emergency situations of high-altitude flight by informing passengers about the potential danger of an emergency in real time. Informing is carried out by presenting passengers with an estimate of the reserve time for preserving consciousness, calculated by the value of barometric pressure. The system of personalized information about the danger of an emergency in high-altitude flight was developed in two versions: on the basis of an aviation oxygen mask and on the basis of an aviation passenger seat. Focusing on the values of the reserve time of consciousness, on light and sound information, the passenger of an aircraft in an emergency situation of high-altitude flight can adequately assess the real danger of being without an oxygen mask, for example, when taking actions to assist other passengers. Awareness of passengers about the real danger of losing consciousness in extreme conditions of high-altitude flight, in addition, contributes to maintaining calm, which is essential for ensuring safety in an emergency. The area of application of the developed technologies for personalized informing of aircraft passengers about the potential danger of an emergency in high-altitude flight can be extended to the entire range of practical tasks related to ensuring the safety of human activity in conditions associated with exposure to hypoxic hypoxia.

Keywords: an emergency in air transport, depressurization of the aircraft cabin, the altitude factor of the flight, reserve time for preserving consciousness, personalized information about the potential danger of an emergency.

Введение. Эксплуатация воздушного транспорта сопряжена с высокими рисками возникновения чрезвычайных ситуаций, часть которых сопряжена с воздействием на пассажиров высотных факторов полета вследствие разгерметизации салона воздушного судна (ВС) в полете. Общеизвестно, что на высоте полета ВС примерно 10 километров могут развиваться такие опасные состояния, как высотная гипоксия и высотные декомпрессионные расстройства, так как снижа-

ется парциально давление кислорода и общее барометрическое давление [1-3].

Разработка средств жизнеобеспечения человека на больших высотах сопряжена с возможностью многих неблагоприятных факторов, таких как температурный стресс, гиперкапния, гипобария, разгерметизация, проблемы при приземлении, а также – плавная и взрывная декомпрессия, гипо- и гипероксия, гипер- и гипотермия и т.д. [1].

Герметическая кабина (герметичный салон ВС) используется во время всего высотного полета и является главным средством жизнеобеспечения, в котором задаются обязательные для обеспечения жизненных процессов человека условия. Например, влажность, температура, газовый состав, давление, скорость движения и расход воздуха [4].

В пассажирских самолетах для полетов продолжительностью 4 часа и более нормой давления воздуха в герметичной кабине считается 650-550 мм рт. ст. На законодательном уровне правила для установки и поддержания условий микроклимата в герметичных кабинах летательных аппаратов определяются действующими государственными стандартами [1].

Анализ статистики авиационных происшествий, инцидентов и предпосылок к ним показывает, что порядка 5% из них сопряжено с фактами или рисками разгерметизации салона ВС, что обуславливает риски чрезвычайных ситуаций [5]. На высотах полетов ВС гражданской авиации показатели барометрического давления и парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе в 4-5 раз меньше соответствующих «наземных» величин [1]. Это обуславливает потерю сознания практически здоровыми пассажирами в таких условиях в течение 15-20 с., а смерть от воздействия высотной гипоксии может наступить всего через 5-6 минут [6-8]. Но человек сможет находиться на той же высоте еще несколько часов если с помощью дыхания 100% кислородом частично привести в норму парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе в легких, сохраняя удовлетворительный уровень жизнедеятельности и работоспособности [9, 10].

Период от начала действия гипоксии до потери сознания называют резервным временем сохранения сознания (временем активного (полезного) сознания). По мнению многих авторов именно величина резервного времени сохранения сознания является информативным интегральным показателем, характеризующим опасность чрезвычайной ситуации высотного полета для пассажиров ВС [6, 7, 11-14].

Материалы и результаты исследования. Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения безопасности высотных полетов свидетельствует об отсутствии единых подходов к рискометрии потери сознания членами экипажа и пассажирами ВС при разгерметизации салонов и кабин ВС.

Однако в качестве интегральных показателей безопасности жизнедеятельности человека в условиях гипоксии, количественно характеризующих риски жизни и здоровью человека в экстремальных условиях, сопряженных с пониженным содержанием кислорода в воздушной среде используют величины резервного времени сохранения работоспособности, резервного времени сохранения сознания, вероятности соответствующих событий (сохранения работоспособности и сохранения сознания), а также вероятности противоположных событий (потери работоспособности и потери сознания). С математической точки зрения эти величины являются взаимосвязанными, а методы их

расчета (методы рискометрии безопасности высотных полетов) можно разделить на следующие классы (типы) [1]:

1) по величине содержания кислорода в трахеальном воздухе. Этот подход позволяет получить адекватные оценки интегральных показателей безопасности в высотном полете, однако прямая регистрация содержания кислорода в трахеальном воздухе технически сложна, а многочисленные зависимости величины этого показателя от высоты полета не позволяют адекватно оценить реальную обстановку в салоне ВС в режиме развития ЧС, когда воздушная смесь в салоне заменяется гипоксической газовой смесью постепенно (с учетом площади и места расположения отверстия в корпусе ВС, характеристик полета ВС и т.п.);

2) на основании математических моделей газообмена, предложенных в работах [2, 15, 16]. Недостатком этого подхода являются большая вычислительная сложность (число ее элементов составляет несколько сотен тысяч) и большое число допущений и идеализаций;

3) по величине барометрического давления в салоне с последующим пересчетом в величину содержания кислорода в воздушной среде на основе принципа эквивалентных высот. Этот подход технически просто реализуем (датчики барометрического давления в окружающем воздухе компактны и недороги) и при частом опросе датчиков (съем показаний с датчиков) позволяет реализовать мониторинг потенциальной опасности ЧС в высотном полете в режиме реального времени.

В интересах обеспечения информирования пассажиров ВС о потенциальной опасности окружающей ситуации целесообразно использовать величины резервного времени сохранения работоспособности, поскольку величины барометрического давления, содержания кислорода в окружающем воздухе являются малоинформативными для большинства пассажиров.

Поэтому, как отмечено выше, для информирования пассажиров ВС в чрезвычайной ситуации высотного полета следует ориентироваться на оценки резервного времени сохранения сознания в высотном полете, рассчитываемые по величине барометрического давления в салоне ВС.

Датчики барометрического (атмосферного) давления имеют открытый вход, через который идет съем показаний атмосферного давления. Датчики могут быть различных конструкций:

- датчики давления дискретного действия представляют собой устройство, где замыкание и размыкание контактов происходят под действием упругой мембраны, испытывающей измеряемое давление;

- датчики давления непрерывного действия представляют собой либо потенциометр, ползунок которого связан с мембраной, либо катушку индуктивности, в которую мембрана под действием давления вдвигает магнитный сердечник.

Современные датчики барометрического давления подключаются к микропроцессору, обрабатывающе-

му сигналы с их выхода, через коммутатор и аналого-цифровой преобразователь: для восьми разрядного контроллера шаг дискретизации может составлять до 4 мс, для шестнадцати разрядного до 2 мс.

На данный момент широко распространены полупроводниковые датчики с преобразователем давления на кремниевом кристалле, которые работают на основе пьезорезистивного эффекта. На поверхности кристалла сформирован мостик сопротивлений, ток через которые изменяется под действием деформации (затем ток усиливается и вводится температурная компенсация). К особенностям таких датчиков относятся высокая надежность и компактные размеры. Интегральные датчики давления очень технологичны, их выходной сигнал унифицирован для подключения к аналоговым или импульсным входам микроконтроллера. Информацию о давлении в зависимости от конструкции датчика несет величина выходного напряжения или его частота.

То есть уровень научно-технического прогресса позволяет реализовать рискометрию безопасности высотных полетов с расчетом оценки резервного времени сохранения работоспособности пассажирами ВС в реальном времени развития ЧС высотного полета на основании непрерывно (с заданной частотой дискретизации) определяемой величины барометрического давления в салоне ВС.

Таким образом, решение задачи обеспечения безопасности пассажиров ВС в чрезвычайной ситуации высотного полета потребовало разработки и реализации систем сигнализации и информирования об опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени [17].

Анализ возможных подходов к синтезу таких систем показал, что их целесообразно реализовать с помощью сопряжения (встраивания) в средства индивидуального обеспечения жизнедеятельности пассажиров ВС в чрезвычайных ситуациях высотного полета (кислородные маски) либо в оборудование салона ВС.

Проведенные исследования позволили обосновать облик автоматизированных информационных систем персонализированного оповещения пассажиров ВС в чрезвычайных ситуациях высотного полета на основе величины резервного времени сохранения сознания человеком в условиях гипоксической гипоксии, рассчитываемой в реальном времени.

Разработанная методика экспресс-расчета оценки резервного времени сохранения сознания в чрезвычайной ситуации высотного полета в реальном времени имеет следующий вид.

Измеряют барометрическое давление в салоне ВС каждые три секунды. Если полученная величина больше, чем барометрическое давление на высоте 6500 м. (44,06 кПа), то резервное время сохранения сознания считается неограниченным.

Как только текущее значение барометрического давления будет меньше, чем барометрическое давление на высоте 6500 м:

- включается таймер и определяется время нахождения пассажиров в таких условиях;

- вычисляется оценка резервного времени сохранения сознания (Т) по формуле:

$$T = (710,37 - 0,2093(44060 - P) \Delta t) / (0,2093(44060 - P)).$$

Как только измеренное барометрическое давление будет больше, чем барометрическое давление на высоте 6500 м. резервное время сохранения сознания считается неограниченным.

Разработанная методика обеспечивает возможность связи между вычислительными и физическими элементами комплексной системы обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях в высотных полетах, обеспечивая возможность реализации информирования об опасности чрезвычайной ситуации в реальном времени [7, 12-14, 17].

Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете на основе кислородной маски.

Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете разработана в двух вариантах: на основе авиационной кислородной маски и на основе авиационного пассажирского кресла [18-20].

Известны многочисленные варианты конструкций авиационных кислородных масок, применяемых для различных ВС, но ни одна из них не обеспечивает информирование пользователя об опасности (безопасности) окружающей среды.

Функционирование разработанной системы, объединяющей датчики барометрического давления, микропроцессор, информационное табло, компаратор, блок беспроводного интерфейса, многорежимный светодиод и кислородную маску, соединенную с кислородным оборудованием, заключается в следующем [21]. При нештатной (аварийной) ситуации высотного полета кислородная маска выпадает из специального отсека на борту ВС и «повисает» перед пассажиром. Одновременно включается непрерывная подача кислорода в маску и в ней создается избыточное давление. Пассажир «подтягивает» маску и прижимает ее к лицу.

За счет наличия избыточного давления в маске ее обтюратор, действуя по принципу лепестка, прижимается к лицу и обеспечивает необходимую герметичность прилегания маски. Во время выдоха избыточное давление в маске возрастает на величину, превышающую силу давления мембраны на седло маски, поэтому лепестковый клапан выдоха и мембрана клапана выдоха отходят от седла, и выдыхаемая смесь выходит в окружающую среду. Поскольку горизонтальные полосы формователя контура человеческого носа в маске поджаты по форме носа пользователя, и за счет формы нижней части каркаса, глубоко охватывающей подбородок, толщины полотна каркаса обеспечивается эргономически комфортное применение маски.

В маску встроен индикатор резервного времени сохранения сознания, включающий корпус, в стенки которого заподлицо внешней поверхности встроены

датчик барометрического давления, и табло для отображения резервного времени сохранения сознания человеком, а внешняя стенка корпуса, противоположная внешней стенке со встроенным табло, оборудована креплением, причем выход датчика барометрического давления подключен к накопителю информации, соединенному с вычислителем, выход которого подключен к компаратору, соединенному с табло и с блоком беспроводного интерфейса. Расчет оценки резервного времени сохранения сознания осуществляется с помощью методики, изложенной выше.

При этом с помощью индикатора пользователь маски информируется о величине резервного времени сохранения сознания без использования маски, которая показывается на табло, входящем в состав индикатора и встроенном в маску заподлицо ее внешней поверхности так, чтобы показания индикатора были видны пользователю маски, а датчик барометрического давления в окружающей газовой среде обеспечивал объективную регистрацию измеряемых величин барометрического давления (внешняя поверхность датчика не должна перекрываться компонентами маски и т.п.) [18, 21].

Кроме того, для дополнительного информирования пользователя маски об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете, в маску встраивают светодиод, имеющий, как минимум три режима свечения (зеленый, желтый, красный). Светодиод встраивают в маску заподлицо ее внешней поверхности так, чтобы он был виден пользователю маски, и соединяют с вычислителем, управляющим режимами свечения светодиода в зависимости от рассчитанной величины резервного времени сохранения сознания.

После выпадения маски осуществляют расчет величины резервного времени сохранения сознания с частотой, как правило, 1 Гц (1 раз в секунду).

Ориентируясь на значения резервного времени сохранения сознания и на свечение светодиода, пассажир ВС в чрезвычайной ситуации высотного полета может оценивать реальную опасность пребывания без кислородной маски, например, при осуществлении действия по оказанию помощи другим пассажирам, перемещению по салону ВС и т.п.

Информированность пассажиров о реальной опасности чрезвычайной ситуации в экстремальных условиях высотного полета, кроме всего, способствует сохранению спокойствия, что имеет существенное значение для обеспечения безопасности в чрезвычайной ситуации.

Система персонализированного информирования об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете на основе авиационного пассажирского кресла.

Функционирование разработанной системы, объединяющей датчики барометрического давления, микропроцессор, информационное табло, компаратор, громкоговоритель, блок беспроводного интерфейса, многорежимный светодиод и авиационное пассажирское кресло, заключается в следующем [22].

Авиационное пассажирское кресло содержит си-

стем, спинку с подголовником и подлокотники. Для построения системы в спинку кресла заподлицо ее внешней поверхности встроено табло, в подголовник заподлицо его поверхности встроены датчик барометрического давления и громкоговоритель, соединенные с закрепленным внутри кресла микропроцессором, выход которого соединен с табло.

В процессе полета, как и в предыдущем случае, осуществляют съем показаний с датчика барометрического давления в окружающей газовой среде и рассчитывают оценку резервного времени сохранения сознания человеком.

При значении рассчитанной оценки резервного времени сохранения сознания меньше 300 с. подается сигнал на включение табло и громкоговорителя. При этом в цифровых разрядах табло индикатора отображают рассчитанную оценку резервного времени сохранения сознания человеком, которая изменяется в реальном времени с дискретностью, равной частоте измерения барометрического давления в окружающей газовой среде. Надписи на русском и английском языках подсвечивают одновременно с включением табло и с появлением рассчитанной оценки резервного времени сохранения сознания. Через громкоговоритель попеременно на русском и английском языке выдают аудиоинформацию о величине резервного времени сохранения сознания. Если при включенных табло и громкоговорителе рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания становится большей или равной 300 с, то выдают сигнал на выключение табло и громкоговорителя.

Пассажир, находящийся в кресле, видит информацию на табло, входящем в состав кресла, установленного впереди него, и слышит информацию через громкоговоритель – тем самым обеспечивается информирование пассажиров о потенциальной опасности ситуации, обусловленной риском воздействия гипоксии.

Заключение. Наличие в составе систем (в двух описанных вариантах их реализации) блока беспроводного интерфейса обеспечивает возможность передачи оценок резервного времени сохранения сознания пассажирами ВС экипажу и наземным службам в интересах выработки и реализации рациональной стратегии действий в части планирования траектории полета ВС, определения необходимости и уровня (первая, квалифицированная, специализированная) требуемой медицинской помощи и т.п.

Разработанный подход и реализующие его технические решения найдут применение на ВС, при эксплуатации которых имеется риск разгерметизации салона и/или кабины и при решении других практических задачах, связанных с обеспечением безопасности деятельности человека в условиях, сопряженных с воздействием гипоксии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ушаков И.Б., Черняков И.Н., Шишов А.А. Физиология высотного полета. М., 2007. 147 с.

2. Дворников М.В., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Матюшев Т.В. Технология синтеза законов управления человеко-машинными системами, эксплуатируемыми в условиях высокого риска гипоксических состояний человека // Двойные технологии. 2014. № 1 (66). С. 8-11.
3. Приложение 6 к Конвенции о Международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть 1. Международный коммерческий транспорт. Самолеты. Изд.10. Монреаль: ИКАО, 2016. 304 с.
4. Апрельский Е.Н., Кастерский С.М., Замятин В.Г., Куренков А.С. Математическая модель пневмомеханического регулятора давления бортовых систем кислородного питания воздушных судов // Проблемы безопасности полетов. 2015. № 1. С. 21-30.
5. Человек и безопасность полетов: Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора. М.: Когито-центр, 2013. 288 с.
6. Кукушкин Ю.А., Дворников М.В., Богомолов А.В., Шишов А.А., Сухолитко В.А., Симоненко А.П., Степанов В.К. Особенности поддержки принятия решений по устранению особых событий и опасных состояний летчика в высотном полете // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. № 6. С. 74-79.
7. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Дворников М.В., Кисляков Ю.Ю., Рыженков С.П. Расчет риска потери работоспособности человеком в условиях низкого барометрического давления // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2012. № 11. С. 37-45.
8. Агаджанян Н.А., Полушин И.Н., Степанов В.К., Поляков В.Н. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. Астрахань-Москва: Изд. АГМА, 2001. 340 с.
9. Шишов А.А., Богомолов А.В. Физиологическое обоснование адекватного выхода из аварийной ситуации в высотном полете // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 2. С. 65-71.
10. Гридин Л.А. Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии // Медицина. 2016. Т. 4. № 3 (15). С. 45-68.
11. Гузий А.Г., Капустин А.Г., Лушкин А.М., Фокин А.В. Методология количественного оценивания риска для безопасности полетов в самолетном сегменте коммерческой авиации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019. Т. 22. № 4. С. 33-42.
12. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Дворников М.В. Математическое моделирование динамики гипоксических состояний человека // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 40.
13. Кукушкин Ю.А., Дворников М.В., Богомолов А.В., Матюшев Т.В., Поляков А.В. Математическое обеспечение рискометрии состояний человека в экстремальных и аварийных ситуациях, сопряженных с гипоксическим воздействием // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 10 (142). С. 25-33.
14. Алёхин М.Д., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Методики анализа паттернов дыхания при бесконтактном мониторинге психофизиологических состояний операторов эргатических систем // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 2. С. 99-101.
15. Матюшев Т.В., Дворников М.В. Анализ респираторных реакций человека в условиях измененной газовой среды на математической модели // Компьютерные исследования и моделирование. 2017. Т. 9. № 2. С. 281-296.
16. Матюшев Т.В., Дворников М.В., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Поляков А.В. Математическое моделирование динамики показателей газообмена человека в условиях гипоксии // Математическое моделирование. 2014. Т. 26. № 4. С. 51-64.
17. Замятин В.Г., Кастерский С.М., Харьков В.П., Чернуха В.Н. Синтез элементной базы цифровой бортовой кислородной системы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 7. С. 18-27.
18. Марков Н.А., Богомолов А.В., Шишов А.А., Дворников М.В. Технология персонафицированного информирования о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 7. С. 76-79.
19. Марков Н.А. Система персонафицированного оповещения об опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете. Патент на изобретение RU № 2717738. Заявл. 25.11.2019. Опубл. 25.03.2020 Бюл. № 9.
20. Марков Н.А., Филатов В.Н. Комплекс технических средств автоматизированного оповещения об опасностях чрезвычайных ситуаций высотных полетов // Проблемы безопасности полетов. 2020. № 7. С. 42-48.
21. Марков Н.А. Кислородная маска для пассажиров воздушного судна. Патент на изобретение RU № 2722489. Заявл. 11.11.2019. Опубл. 01.06.2020 Бюл. № 16.
22. Марков Н.А. Авиационное пассажирское кресло с информатором о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета. Патент на изобретение RU № 2729319. Заявл. 02.03.2020. Опубл. 06.08.2020 Бюл. № 22.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-2553.2020.8).

*Статья поступила в редакцию 20.08.2020
Статья принята к публикации 14.09.2020*

УДК 622.235.213.2

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0026

**ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ПРОМЫШЛЕННЫХ
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

©2020

Гармашов Алексей Сергеевич, аспирант, старший лаборант кафедры техносферной безопасности**Акинин Николай Иванович**, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой техносферной безопасности**Михеев Денис Игоревич**, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева**(125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9,**e-mails: akinin@muctr.ru, garmashov@muctr.ru, mikheevmd@mail.ru)*

Аннотация. С момента появления промышленности в нашем мире, в качестве неотъемлемой части прогресса, экологическим аспектам функционирования любой отрасли посвящается недостаточно времени, а порой они игнорируются. Из-за недостаточной изученности экологической составляющей любой отрасли производства или добычи полезных ископаемых под угрозой оказывается устойчивое развитие человечества. Главная задача настоящей работы заключается в описании и анализе некоторых расчетных подходов к оценке экотоксичности газообразных продуктов взрыва, полученных путем взрывания аммиачно-селитренных взрывчатых веществ. При глубоком анализе существующих расчетных методик для оценки экотоксичности газообразных продуктов взрыва становится понятно, что такие расчетные методы основаны на приближенной оценке и не всегда могут быть объективно достоверными. В ходе работы приведен анализ существующей проблемы с экологической точки зрения, описаны механизмы и особенности образования токсичных продуктов взрыва, с которыми сталкивались ученые при разработке расчетных методов определения газообразного состава продуктов взрывания. Проанализированы результаты расчетов программных комплексов "Real" и "Shock and Detonation", в сравнении с экспериментальными данными. Показано, что используемые методы расчета не могут быть применены для полноценного расчета качественного и количественного состава продуктов взрыва, и нуждаются в доработке.

Ключевые слова: газообразные продукты взрыва, промышленные взрывчатые вещества, состав продуктов взрыва, токсичность.

**EVALUATION OF ECOTOXICITY OF PRODUCTS OF EXPLOSION OF
INDUSTRIAL EXPLOSIVES**

©2020

Garmashov Alexey Sergeevich, postgraduate student,

senior laboratory assistant department of technosphere safety

Akinin Nikolai Ivanovich, doctor of technical sciences, professor,

head of the department of technosphere safety

Mikheev Denis Igolevich, senior lecturer, department of technosphere safety*D.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia**(125047, Moscow, Miusskaya square, 9, e-mails: akinin@muctr.ru, garmashov@muctr.ru, mikheevmd@mail.ru)*

Annotation. Since the emergence of industry in our world, as an integral part of progress, not enough time is devoted to the environmental aspects of the functioning of any industry, and sometimes this aspects are ignored. Due to insufficient knowledge of the ecological component of any branch of production or mining, the sustainable development of mankind is under threat. The main objective of this work is to describe and analyze some computational approaches to assessing the ecotoxicity of gaseous explosion products obtained by detonating ammonium nitrate explosives. With a deep analysis of the existing calculation methods for assessing the ecotoxicity of gaseous explosion products, it becomes clear that such calculation methods are based on an approximate estimate and may not always be objectively reliable. In the course of the work, an analysis of the existing problem is given from an environmental point of view, the mechanisms and features of the formation of toxic explosion products, which scientists encountered when developing calculation methods for determining the gaseous composition of explosion products, are described. The results of calculations of software systems "Real" and "Shock and Detonation" are analyzed in comparison with experimental data. It is shown that the calculation methods cannot be used for a full-fledged calculation of the qualitative and quantitative composition of the explosion products, and need to be improved.

Keywords: gaseous explosion products, industrial explosives, composition of explosion products, toxicity.

Введение. В ходе ежегодной пресс-конференции главы государства, а именно "Послания Федеральному Собранию", президент Российской Федерации заявил, что, начиная с 2021 года, необходимо усиленно развивать исследования отечественных и зарубежных

ученых по проблемам экологии [1].

Рассматривая крупные промышленные центры, необходимо выделить территории азиатской части России. Так как там находится основные месторождения полезных ископаемых, то экономически и логи-

стически верным решением является расположение горно-обогатительных комбинатов (ГОК) вблизи мест добычи.

Как и отрасли энергетики, доля выбросов которых составляет 78,9% на 2017 год, так и остальная промышленность, исключая отрасли землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) являются потребителями природных ископаемых (каменный уголь, золотоносные руды и т.д.), добыча которых происходит с помощью промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) [2].

Промышленные взрывчатые вещества (ПВВ) – взрывчатые вещества, используемые в мирных целях. При использовании взрывных зарядов для частичного разрушения горных пород различной крепости существует опасность травмирования, утраты здоровья или же смерти не только от механического действия взрыва, но и от токсичных газовых выбросов, полученных путем взрывного превращения ПВВ. Стоит отметить, что продукты взрыва (ПВ) оказывают прямое воздействие на атмосферный воздух, поверхностные (в случае расположения мест добычи вблизи рек и озер) и подземные воды, почвенный покров.

По данным Федеральной Службы по Экологическому, Технологическому и Атомному Надзору (ФСЭТАН, Ростехнадзор) количество ПВВ, израсходованных организациями-потребителями в 2018 году составило 1.9 млн т (1.8 млн т в 2017 году) [3].

В настоящее время приняты различные организационно-технические мероприятия комплексного обеспечения безопасности работников от механического действия взрыва. Однако вопросам защиты человека и окружающей среды от токсичных газовых выбросов (продуктов взрыва) уделяется меньшее внимание. Полностью исключить применение взрывчатки, взрывное превращение которой ведет к образованию токсичных продуктов – невозможно.

Теоретически, при взрывании, в идеальных условиях, взрывчатое превращение ВВ с нулевым кислородным балансом (КБ) должно привести к образованию только конечных продуктов взрыва: углекислого газа (CO_2), воды (H_2O) в виде пара и азота (N_2). В практических, производственных условиях, применяют ВВ с КБ близким к нулю, с некоторыми отклонениями в положительную или отрицательную область. При $КБ > 0$ увеличивается эмиссия оксидов азота (NO_x), а при $КБ < 0$ – оксида углерода (CO) [4-6].

С 1930-х годов начались поиски универсальной методики, которая отражала бы в лабораторных условиях картину, похожую на промышленное проведение взрывных работ. Основная проблема при проведении лабораторных опытов – значительная разница в результатах опытов, в сравнении с результатами, полученными при взрывных работах в производственных условиях. Ученые выделяют основные факторы, влияющие на образование ПВ: степень смешения компонентов, плотность заряда ВВ, вид оболочки патрона, обводненность заряда, влияние окружающих заряд горных пород, величина зазоров в шпуре/скважине,

размеры шпура/скважины, наличие забойки, и др. Другими словами – все физические и физико-химические условия, присутствующие при проведении взрывных работ, влияют на образование ПВ [5,7-12].

Ведя речь о теоретических способах оценки газовой составляющей ПВ стоит отметить, что многими учеными были сделаны попытки разработки методик по расчету газообразных составов продуктов взрыва. Большинство предложенных методик получили широкое распространение только в расчетах индивидуальных (однокомпонентных) ВВ, и довольно хорошо согласовывались с результатами лабораторных испытаний. Основной алгоритм, представленный в научных трудах, включал в себя предполагаемый расчет ПВ. Авторы принимали образование оксидов азота равным нулю, потому что для них стоит задача не в расчете состава ПВ, а в том, чтобы по составу ПВ составить уравнения для расчета теплоты взрыва, основываясь на ПВ. Так сказать, поступали от обратного [13].

Если же говорить о смесевых составах (многокомпонентных и гетерогенных ВВ), то результаты расчетов плохо согласовывались с экспериментальными данными. Главная сложность расчетов состоит в том, что невозможно точно определить истинный состав ПВ к моменту завершения процесса их расширения. Уравнение, связывающее формулу индивидуального или смесового ВВ с составом ПВ, называют уравнением реакции взрывчатого превращения. Это уравнение не даёт ни представления о большом количестве элементарных процессов, протекающих в зоне "химика" детонационной волны (ДВ), ни точного состава ПВ, расширяющихся от состояния точки Чепмена-Жуге, через подвижное равновесие на изоэнтропе до конечного состояния ПВ. Оно показывает конечный результат реакции превращения ВВ в ПВ [13]. Нельзя не отметить, что при расчете состава ПВ, в расчет вносятся довольно большие допущения. Дело в том, что продукты распада компонентов вступают во взаимодействие (вторичные реакции) в газовой фазе.

Цель исследования заключалась в проведении количественного и качественного расчета составов ПВ для смесевых ВВ с дальнейшим анализом данных, с целью поиска новых расчетных подходов.

Материалы и методы исследования. Для реализации идеи мы использовали программные комплексы "Real" [14] и "Shock and Detonation", разработанный учеными РХТУ им. Д.И. Менделеева [15], использовавшиеся ранее для оценки экотоксичности промышленных взрывчатых составов на основе энергоемких компонентов утилизируемых боеприпасов [16-17].

Исходя из вышесказанного, нами была предпринята попытка получить расчетные данные, с максимальным приближением к литературным данным. В процессе расчета мы использовали вириальное уравнение состояния (1), наиболее подходящее под специфику расчетов.

$$p = \rho R_0 T (1 + B\rho + C\rho^2) \quad (1)$$

Результаты исследования. В таблицах 1 и 2 сведены результаты расчетов ПВ в сравнении с экспериментальными данными из [18].

Где p - давление, ρ - мольная плотность газовой фазы ($\rho = ng/Vg$), R_0 - универсальная газовая постоянная, T - температура; B , C - вириальные коэффициенты.

Наибольшая корреляция с экспериментальными данными выявлена при температуре 2400K для Аммонита 6-ЖВ и 3080K для Игданита 5,5. В аналогичных расчетах в программе «Shock and Detonation», значения температуры составили 3254K и 2143K соответственно. Результаты расчетов и данные, полученные экспериментальным методом [18], сведены в таблице 1. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными [18] представлено в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты расчетов и экспериментальные данные

Данные	ВВ	Количество, моль/кг				
		N _x O _y	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄
Экспериментальные данные	Аммонит 6-ЖВ	0,1295	7,4777	0,1518	0,0536	0,0107
	Игданит 5,5	0,1696	2,0804	1,1830	0,4576	0,0893
Результаты расчета Real	Аммонит 6-ЖВ	0,0720	6,2663	0,2056	0,1212	0
	Игданит 5,5	0,3853	2,9577	0,9261	1,0990	0
Результаты расчета SD	Аммонит 6-ЖВ	0,0647	6,4700	0,0019	0,0010	0
	Игданит 5,5	0	3,8800	0,0007	0,0164	0,0001

Таблица 2 – Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными

Данные	ВВ	Сумма ПВ, моль/кг	$\Delta, \%$	Только N _x O _y и CO ₂ , моль/кг		В пересчете на условный CO, моль/кг	
				$\Delta, \%$	$\Delta, \%$		
Экспериментальные данные	Аммонит 6-ЖВ	7,8232	-	0,2813	-	0,9933	-
	Игданит 5,5	3,9799	-	1,3527	-	2,2857	-
Результаты расчета Real	Аммонит 6-ЖВ	6,6651	-14,80	0,2776	-1,30	0,6735	-32,20
	Игданит 5,5	5,3682	-34,88	1,3115	-3,05	3,4308	+50,10
Результаты расчета SD	Аммонит 6-ЖВ	6,5376	-16,43	0,0666	-76,33	0,4224	-57,47
	Игданит 5,5	3,8972	-2,08	0,0007	-99,95	0,0007	-99,97

Обращая внимание на отклонение результатов расчета от экспериментальных данных (табл. 2), необходимо отметить, что алгоритм расчета обеих программ основан на использовании вириального уравнения, однако, в некоторых случаях, результаты отличаются на несколько порядков. При сравнении количеств суммарных значений газообразных ПВ, большее отклонение от эксперимента наблюдается в результатах программы «Real». Если же акцентировать внимание на основных токсичных составляющих продуктов взрыва, то результаты расчета в «Shock and

Detonation» отличаются от результатов, полученных в программе «Real», и экспериментальных данных, в несколько раз. Беря во внимание последний столбец таблицы 2, можно заметить, что в результатах расчета обеих программ наблюдается отклонение не менее 32%. Суммарные количества оксидов азота и монооксида углерода в результатах расчета программы «Real» и экспериментом обладают минимальной разницей, однако при пересчете по методике [19] в условный монооксид углерода, в значениях наблюдается отклонение минимум в треть из-за того, что для пересчета концентраций оксидов азота в условный CO, коэффициент принимается равным 6,5, а у CO – 1. Этим и объясняется разброс данных, связанный с заниженными значениями NO в расчетах

Заключение. В качестве заключения необходимо отметить что на сегодняшний день отсутствуют адекватные расчетные методы определения состава газообразных ПВ, а реализация экспериментального анализа ПВ с минимальными финансовыми и техническими затратами – невозможна [20]. Рассматривая данный расчетный способ оценки экотоксичности ПВ, говорить о его применимости достаточно сложно, так как любые методы расчетов или прогнозирования, требуют доработки для учета практических наблюдений. Например, для ВВ на основе аммиачной селитры, на практике, наблюдаются большие концентрации оксидов азота в ПВ, даже при нулевом или близком к нулевому кислородному балансу, нежели в лабораторных условиях. Это объясняется неполнотой проходящих реакций из-за различных условий взрыва [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственный интернет-портал «Официальные сетевые ресурсы Президента России» (<http://kremlin.ru/events/pr-president/news/62582>) [электронный ресурс, дата обращения: 15.02.2020].
2. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2018 годы / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Часть 1 изд. Москва: 2020.
3. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2018 году / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору / Москва: 2019.
4. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества // М.: «Недра», 1988. – С. 26-62.
5. Oluwoye I. et al. Atmospheric emission of NOx from mining explosives: A critical review // Atmospheric Environment. – 2017. – Т. 167. – С. 81-96.
6. Холоденко Т. Ф., Колесник В. Е., Павличенко А. В. Влияние внутренних (рецептурных) особенностей эмульсионных взрывчатых веществ на эмиссию загрязняющих веществ в продуктах взрыва в атмосферу // Геотехническая механика. – 2016. – №. 131. – С. 121-132.
7. Б.Д. Росси. Ядовитые газы при подземных взрывных работах // М.: Недр, 1966. – С. 12-60.
8. З.Г. Поздников, Б.Д. Росси. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрыва // -

Изд. 2, перераб. и доп. / М.: «Недра», 1977.

9. Взрывное дело. Сборник 68/25. Борьба с ядовитыми газами при взрывных работах и новые методы испытаний промышленных ВВ / М.: «Недра», 1970. – С. 8-23.

10. Бабкин Р.С. Снижение выбросов оксидов азота при ведении взрывных работ на месторождениях, разрабатываемых открытым способом : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 25.00.20 / С.-Петербург. гос. гор. ун-т – 2018. -20 с.

11. Skarlis S.A. et al. Combined experimental and kinetic modeling approaches of ammonium nitrate thermal decomposition //Thermochimica Acta. – 2014. – Т. 584. – С. 58-66.

12. Петров Е.А., Удовиченко В.П., Аверин А.А. Результаты экспериментальной оценки состава продуктов взрыва в зависимости от условий испытаний во взрывной камере // Вестник Научного центра. 2007. №2.

13. Физика взрыва / Под. Ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2т. Т.1. / М.: «ФИЗМАТЛИТ», 2002. – С. 123-131.

14. Белов Г.В. «REAL Программный комплекс для моделирования равновесных состояний термодинамических систем при повышенных значениях температуры и давления» // Москва 1983-2007 - 23 с.

15. A.I. Sumin, V.N. Gamezo, B.N. Kondrikov, R.V. Raikova. Shock and detonation general kinetics and thermodynamics in reactive systems computer package. Trans. Of the 11-th (Int.) Detonation Symp., Snowmass, Colorado, USA. August 31-September 4, 1998, Bookcomp, Ampersand, 2000.

16. Анников В.Э., Акинин Н.И., Михеев Д.И., Ротенберг Е.В. Оценка экологической безопасности при утилизации артиллерийских боеприпасов // Взрывное дело. -№111/68. - 2014. - с. 275-282.

17. Акинин Н.И., Анников В.Э., Михеев Д. И., Трунин В. В. Разработка пороховых водно-гелевых составов пониженной экотоксичности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2018. - № 2. - С. 81–88.

18. Доманов В.П., Варнаков Ю.В., Батраков Д.Н., Плешаков К.А., Варнаков К.Ю. Исследования газовой вредности взрывчатых веществ, предназначенных для формирования скважинных зарядов // Вестник Научного центра 2012. - №2. – С.51-56.

19. Постановление Госгортехнадзора РФ «Об утверждении «Правил безопасности в угольных шахтах» от 05.06.2003 N 50 (ред. от 20.12.2010) // Российская газета

20. Козырев С.А., Власова Е.А., Соколов А.В. Способ определения газовой вредности промышленного взрывчатого вещества // Патент России № 2407985. 2010. Бюл. № 36

Статья поступила в редакцию 05.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 614.8.084

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0027

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

© 2020

Фаюстова Юлия Анатольевна, главный специалист по охране труда,
филиал «Мордовский» ПАО «Т Плюс» ОП Пенза

(440022, Пенза, ул.Новочеркасская, 1, e-mail: ylechka@mail.ru)

Красная Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Биотехнология и техносферная безопасность»

Пензенский государственный технологический университет

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

Аннотация. Для создания благоприятной, безопасной среды для жизни человека и животных актуальна проблема недостаточного контроля природных вод и больших объемов загрязнённых сбросов. Поэтому важно совершенствовать производственные процессы, связанные с применением воды, что и явилось целью проведённых исследований. При этом изучены технологические процессы подготовки воды, на энергетическом производстве, для подпитки энергетических котлов и тепловой сети, положительные практики внедрения новых технологий; исследован состав сточных вод. Анализ данных по современным методам очистки сточных вод от содержащихся в них нефтепродуктов, ионов железа, фосфатов и др. веществ, проведение структурного исследования по имеющимся на изучаемом предприятии способам очистки перед сбросом показал необходимость изменения технологической схемы на подпитку тепловой сети с применением ионного обмена. Один из важных недостатков этой технологии очистки воды – большие объёмы водопользования и сточных вод. Предложено техническое решение, способствующее уменьшению этих объёмов. Технология внедрена и работает на Пензенской ТЭЦ-2, включает применение оксихлорида алюминия в качестве флокулянта и коагулянта и ультрафиолетовое излучение для обеззараживания. Кроме уменьшения объёмов, улучшились показатели качества производственных и сточных вод, особенно в паводковый период. Также положительно изменились технико-экономические показатели предприятия, показатели безопасности труда, охраны здоровья, культуры производства.

Ключевые слова: подготовка воды для энергетического производства, сточные воды, способы очистки, уменьшение воздействия на окружающую среду и человека, модернизированная водоподготовительная установка подпитки теплосети.

THE ANALYSIS OF WATER TREATMENT TECHNOLOGIES IN ENSURING THE LIFE SAFETY

© 2020

Fayustova Yulya Anatolyevna, chief specialist on labor protection,
branch "Mordovsky" public joint stock company "T Plus" separate division Penza
(440022, Penza, NovoCherkasskaya street, 1, e-mail: ylechka@mail.ru)

Krasnaya Elena Gennadyevna, 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: krasna-elena@mail.ru)

Abstract. The problem is actual insufficient control of natural waters and large volumes of polluted discharges to create a favorable, safe environment for human and animal life. Researchers should improve production processes related to the use of water. This was the purpose of the research. Technological processes of water preparation at power production for power boilers and heat network recharge, positive practices of new technologies introduction are studied. The authors studied the composition of wastewater. The analysis of data, carrying out a structural study on the existing methods of treatment at the studied enterprise before discharge showed the need to change the technological scheme for feeding the heat network with the use of ion exchange using modern methods of wastewater treatment from petroleum products, iron ions, phosphates, and other substances contained in them. Large volumes of water use and waste water are identified as one of the important drawbacks of this water treatment technology. A technical solution has been proposed. It helps to reduce these volumes. The technology is implemented and works at Penza CHPP-2. It includes the use of aluminum oxychloride as a flocculant and coagulant, and ultraviolet radiation for disinfection. In addition to reducing volumes, the indicators improved the quality of production and waste water, especially during the flood period. Also, the technical and economic indicators of the enterprise, indicators of labor safety, health protection, and production culture indicators have improved.

Keywords: water treatment for energy production, waste water, treatment methods, reduction of impact on the environmental and human, modernized water treatment plant for heating network recharge.

Введение. С каждым годом нарастает потребление водных ресурсов при осуществлении различных технологических процессов. Чистая вода в водном объекте для современной цивилизации – почти экзотическое понятие. Водные ресурсы имеют важное значение для обеспечения санитарно-гигиенической безопасности населения [1, с.2-3], что тем более актуально в современной эпидемиологической обстановке.

Запасы пресной воды в возобновляемых источниках определяют возможности борьбы с болезнями, снижения смертности, достижения санитарно-гигиенической безопасности.

К 2050 году потребность в воде возрастет на 55%. На всемирном экологическом форуме было представлено обоснование вероятности глобального водного кризиса [2, с.13]. В условиях увеличивающейся напряженности обеспеченности водными ресурсами важной особенностью использования воды является нацеливание на минимальное водопользование и сведение к минимуму воздействий на водные объекты и человека.

Поэтому основной целью описываемого в статье исследования являлась разработка технических мероприятий по снижению воздействий на человека и окружающую среду технологического процесса подготовки воды на энергетическом предприятии как активного водопользователя, с анализом части системы экологического менеджмента (экологического мониторинга) и некоторых показателей состояния охраны труда.

Материалы и результаты исследования. Работа проводилась с применением основных методов: поэтапного исследования процессов подготовки воды для энергетического производства на основе теоретических основ защиты гидросферы, качественного и количественного химического анализа сточных вод, математических методов статистической обработки данных. Для достижения поставленной цели в ходе работы изучен технологический процесс производства добавочной воды на энергетическом производстве, положительные практики внедрения новых технологий. Оборудование для химического анализа: спектрофотометр, ФЭК, рН-метр, кондуктометр и др.. Статистическая обработка данных при помощи программного обеспечения Excel.

Пензенская ТЭЦ-2, как и большинство электростанций, предназначена для производства электрической энергии и тепловой энергии в виде пара и горячей воды. Установленная электрическая мощность станции небольшая – 16 МВт. Ключевым материалом в данном технологическом процессе является вода. От ее качества, и эффективности проведения мониторинга проб в контрольных точках, зависит эффективность процесса в целом [3, с.30-33] и отдельных его составляющих (техничко-экономических, экологических) показателей. А также безопасности персонала и надёжности процесса и непрерывного производства качественного продукта [4, с.205]. Поэтому, контроль в области изменения состава природных вод, сведения

к минимуму причин, влекущих за собой указанные изменения, одна из стратегических задач предприятий, связанных с водой и производственными процессами [5, с.420]. Для этого ведется природоохранная деятельность, направленная на сохранение, правильное использование, восстановление и преумножение природных ресурсов нашей страны, в том числе водных [6, с.48]. При этом разрабатываются, планируются, осуществляются, анализируются:

- качественно-количественные характеристики природоохранных мероприятий (метод, способ, установки, оборудование), режим их эксплуатации;
- методы и средства контроля функционирования и эффективности мероприятий;
- эколого-экономическая эффективность планируемых природоохранных мероприятий;
- остаточное воздействие объекта после реализации планируемых природоохранных мероприятий и возможности его снижения [7, с.158].

На предприятии существуют два выпуска сточных вод. Часть производственных сточных вод от продувки энергетических котлов и продувки осветлителей предварительной очистки отводятся в отстойники-шламоотвалы. Очищенные сточные воды из отстойников сбрасываются самотёком по трубе в бывшее русло (б.р.) реки Мойка (рис. 1). Расстояние от места сброса до р. Суры – 1 км.

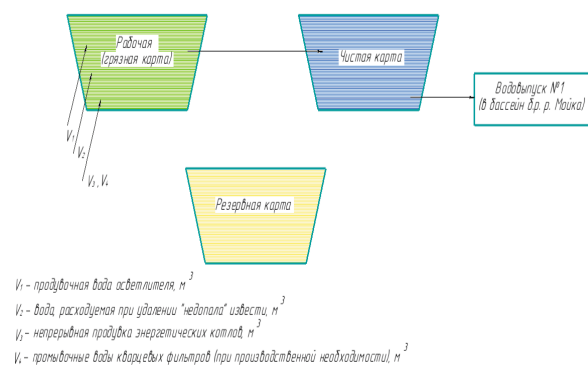


Рисунок 1 – Поток сточных вод Пензенской ТЭЦ-2, сбрасываемые после очистки в б.р. реки Мойка

Река Мойка относится к рыбохозяйственным водоемам второй категории. Данные по предельно-допустимой концентрации (ПДК) нормируемых загрязняющих веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, приняты по [8, с.10], [9].

Выше описан только один из сбросов – в реку Мойка. Существует также второй выпуск вод от хозяйственной деятельности Пензенской ТЭЦ-2 в сети городской канализации. На предприятии организован мониторинг загрязнений, в том числе сточных вод. В числе важных контрольных точек - водовыпуск сточных вод 1, 2 после разных технологических операций. В работе анализировались сточные воды по различным качественным и количественным показателям. Установлена динамика изменений показателей за последние несколько лет.

На рисунке 2, к примеру, можно наглядно увидеть

динамику содержания фосфатов в сточной воде сбросов сточных вод водовыпуска № 1 за 2014-2018 гг.

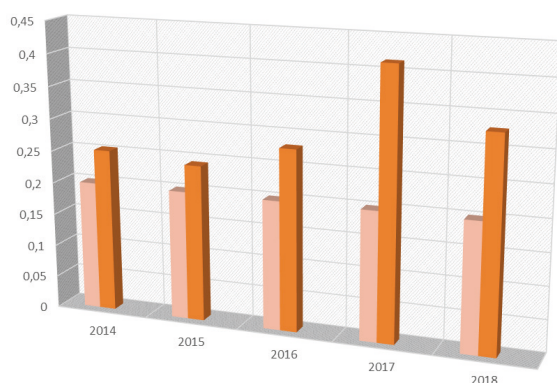


Рисунок 2 – Динамика содержания фосфатов в сточной воде (водовыпуск № 1) по сравнению с установленной ПДК (0,200 мг/л – левый столбец) за последние пять полных лет

Содержание фосфатов в воде, вероятно, обусловлено наличием их в технической воде, а также в воде от продувки основного оборудования, т.к. в котловую воду дозируется тринатрийфосфат.

Рисунок 3 демонстрирует изменения, связанные с присутствием нефтепродуктов в сточной воде (присутствующих главным образом после попадания с технической водой, после утечек в маслосистемах насосов и другого оборудования).

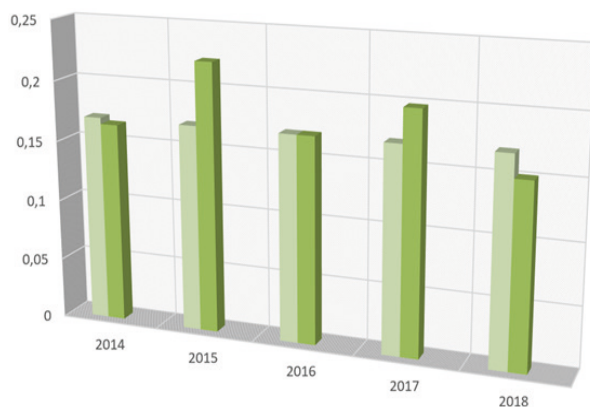


Рисунок 3 – Динамика содержания нефтепродуктов в сточной воде (водовыпуск № 2) по сравнению с установленной ПДК (0,17 мг/л – левый столбец каждого года) за 2014-2018 гг.

Существующая флотаторная установка рассматриваемого предприятия, основной функцией которой является удаление нефтепродуктов из сточных вод, требует ремонта, к тому же её эффективность невысока. По некоторым другим показателям – железу, хлоридам, рН и др. – также велся и ведётся мониторинг, обработаны данные за последние пять лет, построены диаграммы, отражающие динамику, в соответствии с которой прослеживается необходимость менять методы защиты гидросферы, поскольку велика плата за сброс, велика техногенная нагрузка на гидросферу. Кроме того, устаревшее оборудование ненадёжно, и поэтому может опасно влиять на персонал. Так как во-

допользование больших объёмов и большие объёмы стоков приходится на схему подпитки тепловой сети, акцент исследований сделан именно в данном направлении.

При разработке мероприятий целесообразнее не устанавливать локальные очистные сооружения, требующие к тому же дополнительного персонала, а изменить технологическую схему подготовки воды таким образом, чтобы свести к минимуму негативное воздействие.

Предложенное техническое решение, по уменьшению воздействий от подготовки воды на Пензенской ТЭЦ-2, связано с изменением технологической схемы. Авторы работы принимали непосредственное участие в апробации этого технического решения (некоторых методик проведения мониторинга вод с изменённым составом). В настоящее время технология полностью апробирована и внедрена на предприятии.

Была проанализирована динамика изменения объёмов сточных вод до и после введения изменений в технологии. Изменённая технологическая схема с уменьшением объёмов сточных вод приводит к уменьшению количества сбрасываемых загрязняющих веществ. Наглядно это можно увидеть на графиках рисунках 4, 5 по рассчитанным годовым объёмам сточных вод.

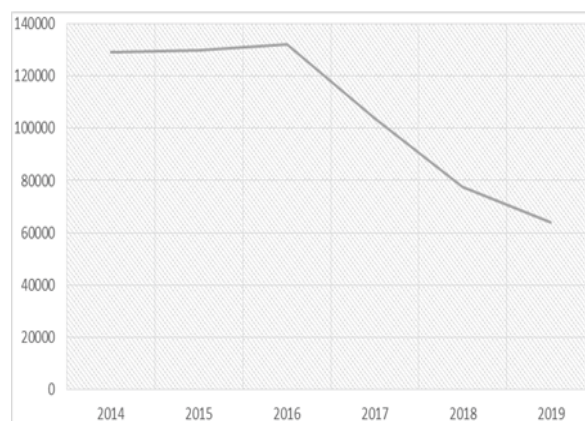


Рисунок 4 – Динамика объёмов стоков по водовыпуску № 1 Пензенской ТЭЦ-2

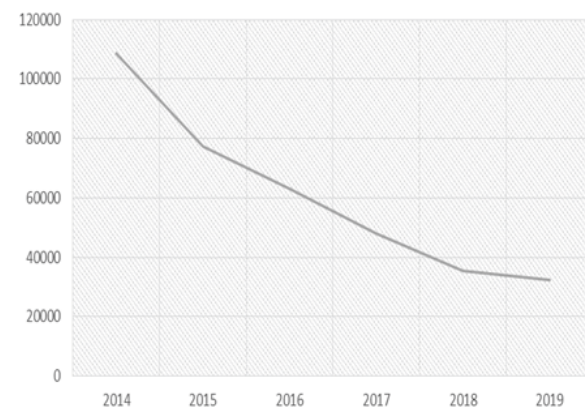
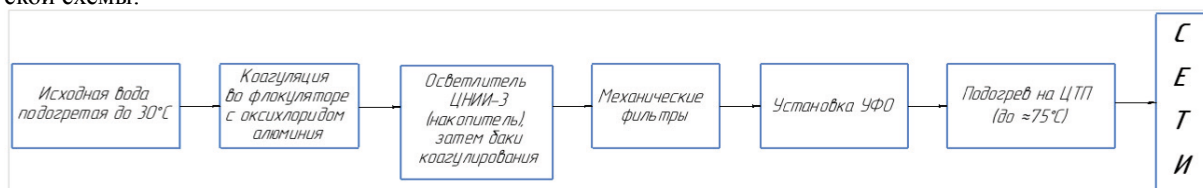


Рисунок 5 – Динамика объёмов стоков по водовыпуску № 2 Пензенской ТЭЦ-2

Предложение реализовано так, что часть оборудования используется от существующей технологической схемы:



В схеме подготовки воды для подпитки тепловой сети остаются осветлитель, кварцевые (механические) фильтры, подпиточный деаэрагор. Для очистки исходной воды в качестве коагулянта и флокулянта используется оксихлорид алюминия - *ОХА* (водный раствор) (далее коагулянт), ГОСТ Р 58580-2019 [10, с.3 - 4]. Химическая формула – $Al_2(OH)_5Cl$. Общая формула для полимерного соединения указанного состава - $Al(OH)_mCl_{3-m}$. Реагент предназначен для очистки воды хозяйственно-питьевого значения, для очистки природных, оборотных, сточных вод.

Общий вид смонтированного оборудования для коагуляции (и флокуляции), а также обеззараживания воды представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Общий вид части смонтированного оборудования по изменённой технологии подготовки воды для подпитки тепловой сети для коагулирования / флокуляции (слева) и для обеззараживания (справа)

При дозировании *ОХА* во флокулятор (см. рис. 6) происходит удаление из обрабатываемой (исходной или технической воды) воды взвешенных, коллоидных частиц, органических соединений за счет образования крупных хлопьев и выпадения их в осадок. Но стоит особо подчеркнуть, что персонал не имеет прямого контакта с *ОХА*, т.к. реагент поставляется в ёмкости, которая сразу подключается насосу, а разбавление происходит в автоматическом режиме, в отличие от предыдущей схемы, когда твёрдый сульфат алюминия аппаратчикам приходилось помещать в мешалки при помощи вёдер, лопат и подъёмных сооружений.

При этом достигается снижение содержания железа в пробах воды в три раза по сравнению с исходной водой, вода становится прозрачной. Дозирование рабочего раствора в напорный трубопровод осуществляется автоматически насосом-дозатором в пропорциональном режиме.

Объём контроля в химической лаборатории при внедрении технологии увеличивается, т.к. необходимо контролировать присутствие *ОХА* в воде в пределах допустимых норм по методу [11, с.3]. Метод сводится к фотометрическому определению алюминия и пе-

ресчёту на *ОХА*. Метод апробирован, содержание *ОХА* поддерживается в допустимых пределах.

Для обеззараживания воды в изменённой технологии подпитки тепловой сети используется ультрафиолетовое излучение. Под ультрафиолетовым излучением понимается электромагнитное излучение с длиной волны 10-400 нм. В основе обеззараживающего действия УФ-излучения – необратимые повреждения молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в воде, за счет фотохимического воздействия лучистой энергии. Фотохимическое воздействие предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии фотона.

Установка УФ-облучения (УФО) включает в себя камеру обеззараживания, предназначенную для облучения обрабатываемой воды. В корпусе камеры установлен защитный кварцевый чехол с бактерицидной УФ-лампой внутри [12, с.4]. Пульт управления предназначен для управления установкой и контроля её работы, а также для размещения электронного пускорегулирующего аппарата.

Закключение. В ходе работы сделаны выводы об эффективности данного метода как для очистки исходной воды при её подготовке, так и для снижения количества загрязняющих веществ в стоках в том числе. Кроме того, как видно из графиков (рис. 4-5), уменьшились объёмы сточных вод, как минимум в 2 раза, что пропорционально снижает плату за сброс сточных вод. Кроме того, само оборудование работает в автоматическом режиме. Автоматизация процессов функционирования большинства производств в настоящее время – это обязательное условие успешной работы предприятия, а эффективное использование собранных данных является ключевым фактором его конкурентоспособности. Ведь, очевидно, при этом повышается культура труда, культура охраны труда как обязательные элементы любого рабочего места и любого производственно-технологического процесса, способные гарантировать сохранение жизни и здоровья работающих [13, с.3].

Целесообразно подчеркнуть – исходя из анализа литературных источников, переговоров с персоналом энергетических предприятий установлено, что существуют множество методов очистки сточных вод. Приоритет имеют методы, связанные с созданием технологических схем с минимизацией использования водных ресурсов, с возвращением части очищенной воды в производственный процесс, что описано в настоящем исследовании. При этом проанализирована изменённая технологическая схема для подпитки те-

пловых сетей с применением оксихлорида алюминия, расширившего возможности очистки воды в паводок, а также с монтажом установки УФО. Объём сточных вод при этом сократился, следовательно, снизилась техногенная нагрузка на гидросферу. Кроме того, преимуществами этой технологии являются стабилизация микробиологических показателей сетевой воды, улучшение технико-экономических показателей предприятия, а также культуры производства в связи с расширением возможностей контроля процесса при переходе на автоматический режим. Ценным после изменений в технологии является участие предприятия в общей смене концепции водно-экологического контроля, предотвращающей дезорганизацию водопользования как фактора, влияющего на биоразнообразие и другие важные процессы, связанные с участием воды. Важнейшим из них является жизнеобеспечение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения от 30.03.1999 № 52-ФЗ.
2. Свинцов А.П., Абдулина А.Ш. Оценка надёжности инфраструктурных сетей водоснабжения и обеспечение населения питьевой водой при их отказе // *Безопасность жизнедеятельности*. – М.: 2017, № 6, с. 13.
3. Сергеева И.В. Экологический мониторинг среды: краткий курс лекций для аспирантов 3 года обучения направления подготовки 05.06.01 Науки о земле профиль подготовки «Экология» / Сост.: И.В. Сергеева // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014 – 120 с.
4. Калыгин В.Г., Бондарь В.А., Дедеян Р.Я. Безопасность жизнедеятельности. Промышленная и экологическая безопасность, безопасность в техногенных чрезвычайных ситуациях. – М.: КолоС, Химия, 2006. – 520 с.
5. Гутенев В.В. Денисов В.В., Денисова И.А., Камышов А.П., Москаленко А.П., Нагнибеда В.А., Осадчий С.Ю., Хорунжий Б.И. Промышленная экология/ Под ред. Денисова В.В. – М.: ИКЦ «Март», 2007 – 720 с.
6. Голубев И.Р., Новиков Ю.В. Окружающая среда и ее охрана. – М.: 1999., 192 с.
7. Широков Ю.А. Экологическая безопасность на предприятии: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. – 360 с.
8. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 552 от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, с изменениями от 10 марта 2020.
9. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации, утверждённый 6 февраля 2008 года № 30 «Об утверждении форм и порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями (с изменениями на 30 марта 2015 года).
10. ГОСТ Р 58580-2019. Полиоксихлорид алюминия. Технические условия. – Введ. 2019-10-9. – М.: Стандартинформ, 2019. – 42 с.
11. МУ 08-47/226. (по реестру аккредитованной метрологической службы ТПУ) Воды производственные тепловых электростанций. Фотометрический метод определения массовой концентрации алюминия. – Введ. 2009-03-25. – 20 с.
12. Установки обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением. Руководство по эксплуатации. Паспорт, 2019.
13. Елин А.М. Культура труда – непреложный компонент организации безопасного труда // *Безопасность жизнедеятельности*. – М.: 2017, № 10, с. 3.
14. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году: государственный доклад, М. НИИ-Природа, 2017. – 300 с.
15. Кирсанов В.В. Предложения по повышению эффективности водного мониторинга в РФ // *Безопасность жизнедеятельности*. – Москва, 2017. – № 12. – с. 40 – 42.
16. Митин И.В., Русаков В.С. Анализ и обработка экспериментальных данных. Учебно-методическое пособие для студентов младших курсов. – М.: Физический факультет МГУ, 2004 и 2006 гг.
17. Петросян В.С. Химическая безопасность воды // *Чистая вода: проблемы и решения*. – Москва – 2010. № 1. – с. 31 – 35.
18. Почекаева Е.И., Попова Т.В. Безопасность окружающей среды и здоровье населения. Феникс, 2012. – 448 с.
19. Свинцов А.П., Квартенко В.С. Водопотребление и водоснабжение в жилищном фонде // *Безопасность жизнедеятельности*. – 2008. – № 10. – с. 35- 38.
20. Широков Ю.А. Экологическая безопасность на предприятии: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. – 360 с.
21. Щербаков Ю.С. Физико – химические процессы в техносфере: учебное пособие. Новосибирск, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ФГБОУ ВПО «СибГУТИ»), 2013. 154 с.

Статья поступила в редакцию 20.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 621.31

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0028

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА НОРМИРОВАНИЯ ЭМП

© 2020

Кузнецов Константин Борисович, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Техносферная безопасность»,

Закирова Альфия Резавановна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»,

Уральский государственный университет путей сообщения,

Фонд развития институтов социального финансирования и поддержки общественно значимых социальных программ и защиты гражданских инициатив

(620034, Россия, Екатеринбург, улица Колмогорова, 66, e-mails: kobokuz@gmail.com, AZakirova@usurt.ru)

Аннотация. В статье приводится новый метод оценки вредного воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на работников электрифицированного железнодорожного транспорта. Оценка осуществляется по энергетической характеристике ЭМП, определяемой электрической мощностью поля на основе вектора Пойнтинга. При осуществлении принципа оценки вредного воздействия ЭМП на персонал использовались данные нормируемых значений, утвержденные в странах ЕС. Это связано с тем, что в практике нормирования РФ не оцениваются ЭМП до 1 кГц, кроме промышленной частоты 50 Гц. Оценка вредного воздействия ЭМП на персонал, с помощью его энергетической характеристики, предложена авторами впервые в мировой практике. Рассчитаны уровни энергетической нагрузки ЭМП в диапазоне низких частот переменного тока, по которым возможно оценивать вредное воздействие ЭМП спектра гармоник переменного тока низкой частоты на работника.

Ключевые слова: электрическое поле, магнитное поле, энергетическая нагрузка, электротехнический персонал, вектор Пойнтинга, нормирование, оценка, контроль.

MODEL FOR ESTIMATING ENERGY LOAD BASED ON INTERNATIONAL EXPERIENCE IN RATING EMF

© 2020

Kuznetsov Konstantin Borisovich, doctor of Technical Sciences, professor,
professor of «Department of Technosphere Safety»

Zakirova Alfiya Rezavanovna, candidate of Technical Sciences, associate professor
associate professor of «Department of Technosphere Safety»

Ural State University of Railways, Fund for the Development of Social Finance Institutions and Support of Socially Significant Social Programs and Protection of Civil Initiatives

(620034, Russia, Yekaterinburg, Kolmogorova street, 66, e-mails: kobokuz@gmail.com, AZakirova@usurt.ru)

Abstract. The article presents a new method for assessing the harmful effects of electromagnetic fields (EMF) on employees of electrified railway transport. The assessment is carried out according to the energy characteristic of the EMF, determined by the electric power of the field based on the Poynting vector. When implementing the principle of assessing the harmful effects of EMF on personnel, the data of standardized values approved in the EU countries were used. This is due to the fact that in the practice of RF regulation, EMFs up to 1 kHz are not evaluated, except for the industrial frequency of 50 Hz. Evaluation of the harmful effects of EMF on personnel, using its energy characteristics, was proposed by the authors for the first time in world practice. The energy load levels of EMF in the range of low frequencies of alternating current are calculated, according to which it is possible to assess the harmful effects of EMF of the spectrum of harmonics of alternating current of low frequency on an employee.

Keywords: electric field, magnetic field, energy load, electrical personnel, Poynting vector, standardization, assessment, control.

Введение. В соответствии с требованиями Трудового кодекса РФ [1] работодатель обязан обеспечить работникам безопасные условия труда. Объекты железнодорожного транспорта имеют электроустановки [2-20], работающие на переменном токе и постоянном (выпрямленном) токе. На рабочих местах персонала одновременно присутствуют электрические и магнитные поля со спектром высших гармонических составляющих до 1 кГц. Известно, что электромагнитные поля способны вызывать различные заболевания у персонала. Всемирная организация здравоохранения включила проблему предупреждения неблагоприят-

ного влияния техногенных ЭМП на здоровье человека в число наиболее важных задач профилактической медицины. Работники могут находиться годами под воздействием ЭМП спектра высших гармонических составляющих, а из-за пробелов в области нормирования и защиты (на законодательном уровне) они на медицинский осмотр не направляются. В этом случае предупредить их профессионально обусловленную заболеваемость не представляется возможным.

Нормирование и оценка ЭМП в России и в мировой практике осуществляется отдельно по электрической (E) и магнитной (H) составляющим поля [21]. В

данном случае отдельную оценку и нормирование E и H проводить нецелесообразно, т. к. не существует методики суммирования аддитивного воздействия составляющих ЭМП на организм человека. Необходим новый метод оценки и нормирования рассматриваемых вредных производственных факторов.

Цель работы – разработать новый метод аддитивной оценки и нормирования электрических и магнитных полей до 1 кГц.

За основу метода возможно использовать значимый параметр ЭМП – вектор Пойнтинга [4, 6-7, 19]. Предельно допустимые уровни (ПДУ) ЭМП до 1 кГц, имеющиеся в России, не позволяют использовать предлагаемый метод в полной мере, так как в РФ нормируются ЭМП только частотой 50 Гц [21]. Подход в области нормирования ЭМП в 28 странах Евросоюза (ЕС) предполагает учет всего спектра низких и высоких частот. Нормирование ЭМП в ЕС осуществляется с обозначениями:

- "низкие ALs " и "высокие ALs ". Для электрических полей означает уровни, которые соответствуют специальным защитным или профилактическим мерам, указанным в [22];

- "низкие ALs " для магнитных полей означает уровни, которые соответствуют $ELVs$ для образования сенсорных эффектов и "высокие ALs " означает $ELVs$ для возникновения последствий для здоровья.

ALs соответствуют уровням напряженностей электрических и магнитных полей, рассчитанным или измеренным на рабочем месте в отсутствие работника.

Результаты исследования. На основании нормируемых уровней напряженностей электрических полей в зависимости от частоты можно рассчитать их максимальные значения для различных частот ЭМП и установить уравнения регрессионных моделей E (рис. 1).

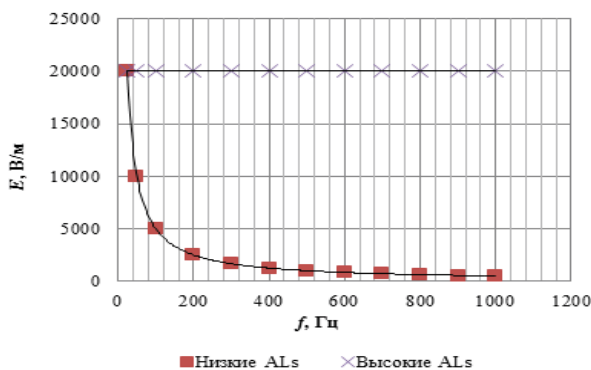


Рисунок 1 - ПДУ напряженностей электрических полей

Таблица 2 – Уравнения регрессионных моделей H и коэффициенты детерминации

ALs	уравнения регрессионных моделей H	коэффициент детерминации	возможность использования зависимости	тип функции
Высокие	$y = 24000x^{-1}$	$R^2 = 1$	да	степенная
Низкие	$y = -0,0681x + 86,877$	$R^2 = 0,9381$	да	прямая

Для высоких ALs H получена степенная функция с коэффициентами: $a=24000$, $n=-1$.

Для низких ALs H – линейная функция, с коэффициентами: $k=-0,0681$; $b=86,877$.

ПДУ напряженности электрического поля (низкие ALs) для частоты 25 Гц составляет 20000 В/м, для 1000 Гц – 500 В/м. ПДУ напряженности электрического поля (высокие ALs) от 25 Гц до 1000 Гц является величиной постоянной и равной 20000 В/м.

Уравнения регрессионных моделей E и коэффициенты детерминации приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Уравнения регрессионных моделей E и коэффициенты детерминации

ALs	уравнения регрессионных моделей E	коэффициент детерминации	возможность использования зависимости	тип функции
Высокие	$y = 500000x^{-1}$	$R^2 = 1$	да	степенная
Низкие	$y = 20000$	-	да	прямая

Для высоких ALs (напряженность электрического поля) получена степенная функция. В общем виде степенная функция имеет вид:

$$y = ax^n \quad (1)$$

Для данного случая, $a=500000$, $n=-1$.

Связь между напряженностью электрических полей (низкие ALs) находится в прямой зависимости от частоты и является ее линейной функцией. Линейная функция задается формулой:

$$y = kx + b \quad (2)$$

В этом случае, $kx=0$; $b=20000$.

На основании данных [22] построены зависимости изменения ПДУ напряженности магнитного поля (низкие ALs и высокие ALs) от частоты (рис. 2).

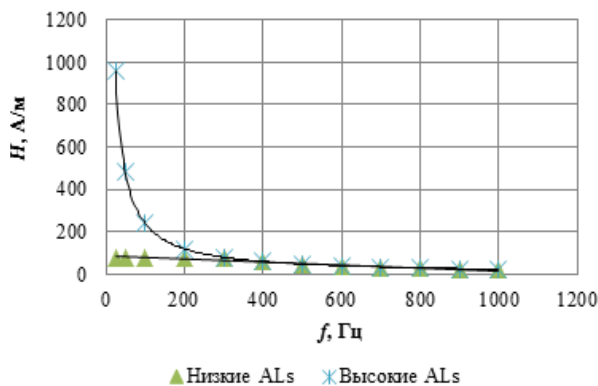


Рисунок 2 - ПДУ напряженностей магнитных полей

ПДУ напряженности магнитного поля 25 Гц для низких ALs – 80 А/м, для высоких ALs – 960 А/м., а ПДУ напряженности магнитного поля 1000 Гц (низкие и высокие ALs) равен 24 А/м. Уравнения регрессионных моделей H и коэффициенты детерминации приведены в таблице 2.

Описав функции изменения напряженностей электрических и магнитных полей в зависимости от частоты, можно определить изменения энергетической нагрузки ЭМП. Для учета аддитивности воздействия

двух рассматриваемых вредных факторов на персонал [23], необходимо каждый из них уменьшить в 2 раза. Впервые на основе рассмотренных данных построен график изменения энергетической нагрузки ЭМП от частоты, который приведен на рисунке 3.

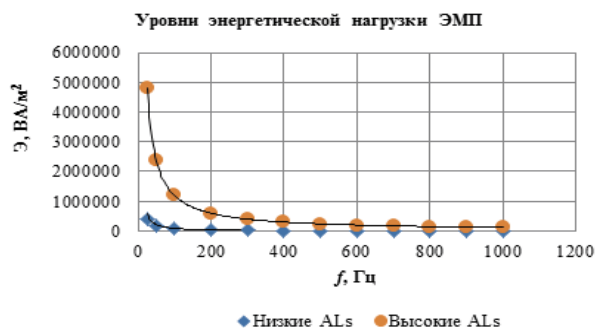


Рисунок 3 - Уровни энергетической нагрузки ЭМП

Диапазон изменения вектора Пойнтинга колеблется для высоких ALs от 4800 до 120 кВА/м², низких ALs

Таблица 3 - Уравнения регрессионных моделей Э и коэффициенты детерминации

ALs	уравнения регрессионных моделей Э	коэффициент детерминации	возможность использования зависимости	тип функции
Высокие	$y = 10^8 x^{-1}$	$R^2 = 1$	да	степенная
Низкие	$y = 4 \cdot 10^7 x^{-1,329}$	$R^2 = 0,9722$	да	степенная

В Концепции гармонизации российских и международных нормативных документов в области охраны труда под международными стандартами понимаются международные европейские стандарты, например [22]. Актуальность задачи гармонизации обусловлена необходимостью использования зарубежных научно-технических достижений в целях повышения уровня защиты персонала от техногенного источника – ЭМП в Российской Федерации. Например, существующая система документов в области стандартизации, содержащих требования защиты населения от ЭМП до 10 кГц, в Российской Федерации выстраивалась с учетом международных принципов и подходов к нормированию ЭМП.

Заключение. Впервые рассматривается определение и установление безопасных уровней напряженности электрической и магнитной составляющих по их энергии в низкочастотном диапазоне, что позволит при использовании данного принципа сохранить здоровье персоналу, работающему при эксплуатации электроустановок тягового электроснабжения.

В соответствии с теорией Д. Максвелла: электрические и магнитные поля не могут существовать по отдельности, оценивать вредное воздействие ЭП и МП раздельно для тяговых сетей электрических железных дорог неправомерно. Необходимо устранить пробел в правовых нормах, например, гармонизировать ПДУ электрических и магнитных полей до 1 кГц в России.

По приведенным уровням и зависимостям изменения энергетической нагрузки ЭМП от частоты можно оценивать аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на персонал суммированием энергетических воздействий ЭМП от токов различной частоты,

рода тока и продолжительности облучения.

от 400 до 3 кВА/м². Уравнения регрессионных моделей Э и коэффициенты детерминации указаны в таблице 3.

Зависимость энергетической нагрузки ЭМП, для высоких и низких ALs, от частоты поля имеет степенную функцию с коэффициентами: $a=108, n=-1$, и соответственно $a=4 \cdot 10^7, n=-1,329$.

Так как принцип нормирования ЭМП в России отличается от ЕС, то приведенные уравнения регрессионных моделей H, E, Э помогут осуществить переход от Европейских стандартов к Российским.

Гармонизация российских документов в области стандартизации, содержащих требования охраны труда в части: оценки, контроля и нормирования ЭМП до 1 кГц, с международными стандартами - является приоритетным направлением по совершенствованию технического регулирования и развитию национальной системы стандартизации в области охраны труда в Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации. – Москва: Проспект, КноРус, 2014. – 224 с.
2. Бей Ю.М. и др. Тяговые подстанции. М.: Транспорт, 1986. 320 с.
3. Э.В. Тер-Оганов, А.А. Пышкин Электроснабжение железных дорог, Екатеринбург: УрГУПС, 2014. 431с.
4. Кузнецов К.Б. Основы электробезопасности в электроустановках. ФГБУ ДПО Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2017. 495 с.
5. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. Транспорт, 1999. 464 с.
6. K.V. Kuznetsov, A.R. Zakirova, «Higher Harmonic Components of Rectifiers Magnetic Fields and their Adverse Health Effects». Procedia Engineering, vol. 129, 2015, pp. 415-419.
7. K.V. Kuznetsov, A.R. Zakirova, «Assessment of Harmful Health Effects of AC Rectifier Converters Harmonic Components». Procedia Engineering, vol. 129, 2015, pp. 420-426.
8. Закирова А.Р., Кузнецов К.Б. Оценка электромагнитной обстановки и вероятности возникновения профессионально обусловленного заболевания. Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2014. № 4 (24). С. 82-89.
9. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость: Учебник для вузов железнодорожного транспорта .УМК МПС, 2002. 638 с.
10. Y.I. Khohlov, D.V Gizzatullin., «Modeling of electromagnetic processes in a compensated rectifier with voltage feedback based on autonomous voltage inverter with PWM». Bulletin of the South Ural State University. Series: Energetics, 2008, vol 11 (111), p. 32-38.
11. Соколов С.Д., Бей Ю.М., Гуральник Я.Д., Чаусов О.Г. Полупроводниковые преобразовательные агрегаты тяговых подстанций. Транспорт, 1979. 264с.
12. Четвергов В.А., Маслов Г.П., Поздняков О.И., Шалимов М.Г., Отчет № 960 о научно-исследовательской работе:

Опытнo-кoнстpуктopская paзpaбoткa, иccлeдoвaниe и экcплyaтaциoннoe ocoбoeниe двeнaдцaтипyльcoвыx выпpямитeлeй тpягoвыx пoдстaнций, 1980. 149c.

13. Шaлимoв М.Г. Двeнaдцaтипyльcoвыe пoлyпpoвoдникoвыe выпpямитeли тpягoвыx пoдстaнций. Тpанcпopт, 1990. 128c.

14. Адoльф Й. Швaб. Элeктpoмaгнитнaя coвмeстимoсть, Энepгoaтoмиздaт, 1995. 480c.

15. Appиллaгa ДЖ, Бpeдли Д., Бoджep П. Гaрмoники в элeктpичeских систeмaх. Энepгoaтoмиздaт, 1990. 320c.

16. Тpeйвaс М.Д., Bышнe гaрмoникeскиe coстaвляющe выпpямлeннoгo нaпpяжeния и их cнижeниe нa тpягoвыx пoдстaнцияx пoстoяннoгo тoкa. Тpанcпopт, 1964. 100c.

17. Бaдep М.П., Элeктpoмaгнитнaя coвмeстимoсть. Чaсть 3. Гaрмoникeский aнaлиз влияющeгo тoкoв и нaпpяжeний. Тp. МИИТ. 1999. 148c.

18. Кocapeв A.Б. Oснoвы элeктpoмaгнитнoй бeзoпacнoсти систeм элeктpocнaбжeния жeлeзнoдopoжнoгo тpанcпopтa. Интeкс, 2008. 480 c.

19. Зaкиpoвa, A.Р., Кузнeцoв, К.Б. Oцeнкa элeктpoмaгнитнoй oбстaнoвки и вepoятнoсти вoзникнoвeния пpoфeссиoнaльнo oбyслoвлeннoгo зaбoлeвaния // Вeстник Уpaльскoгo гocyдapствeннoгo yнивepситeтa пyтeй cooбщeния. 2014. № 4 (24). С. 82-89.

20. Шимoни, К. Тeopетичeская элeктpотeхникa / К. Шимoни. – М.: Мир, 1964. 760 c.

21. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». – Новосибирск: Издательство Норматика. 2017. 68 с.

22. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2013/35/ЕС от 26 июня 2013 г. «О минимальных требованиях безопасности для работников в отношении рисков, связанных с физическим воздействием (электромагнитные поля) (20-я отдельная Директива в значении Статьи 16(1) Директивы 89/391/ЕЭС), и об отмене Директивы 2004/40/ЕС» 2014. 33с.

23. Kaщeльcoн Б. A., Нoвикoв С. М. // Гигиeнa и caнитapия. 1986. № 5. С. 59–62.

Статья поступила в редакцию 09.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 622.242.422 622.276.04 622.279.04

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0029

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ
ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ**
© 2020

Староконь Иван Викторович, кандидат технических наук,
заведующий кафедрой "Автоматизации проектирования сооружений нефтяной и газовой промышленности"
*Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»*
(119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1, E-mail: starokon79@mail.ru)

Аннотация. В мире активно разрабатываются шельфовые месторождения нефти, газа и других полезных ископаемых. Для разработки морских месторождений используются различные гидротехнические сооружения, среди которых отдельно следует выделить морские стационарные платформы. Эти платформы расположены на открытых морских участках и подвергаются воздействию от тепловых потоков от солнца. Решение проблемы оценки тепловых воздействий на открытые металлоконструкции морской платформы важен потому, что даже незначительные тепловые напряжения значительно увеличиваются в зонах трещиноподобных дефектов, формируя при этом зоны локального перенапряжения. Помимо этого, определение температур стенок резервуаров, расположенных на платформе, чрезвычайно важно при определении возможности вспышки горючих жидкостей и иных легко воспламеняющихся веществ. Ранее автором была разработана методика, позволяющая рассчитать температуру любых металлоконструкций цилиндрической формы под действием солнечного излучения. В работе автором приводится сравнительный анализ собственной методики оценки тепловых воздействий и метод определения теплового состояния на основе решения уравнения теплового баланса. На основании проведенных исследований делается вывод о локальных перенапряжениях и оценивается возможность вспышки хранимых легковоспламеняющихся продуктов.

Ключевые слова: морские, стационарные, платформы, температура, самовоспламеняющиеся вещества, теплообмен, дефекты, напряжения.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS FOR ASSESSING THE THERMAL STATE OF CIVIL
CONSTRUCTION FACILITIES ON THE EXAMPLE OF MARINE STATIONARY PLATFORMS**

© 2020

Starokon Ivan Viktorovich, candidate of Technical Sciences,
head of the Department of Automation of Designing of Oil and Gas Industry Structures
Russian State University of Oil and Gas (national research university) named after I.M. Gubkin ”
(119991, Moscow, Leninsky Prospekt, building 65, building 1, E-mail: starokon79@mail.ru)

Abstract. Offshore oil, gas and other minerals are being actively developed in the world. Various hydraulic structures are used for the development of offshore fields, among which offshore fixed platforms should be singled out separately. These platforms are located in open sea areas and are exposed to heat from the sun. Solving the problem of assessing thermal effects on open metal structures of an offshore platform is important because even insignificant thermal stresses increase significantly in zones of crack-like defects, thus forming zones of local overvoltage. In addition, the determination of the temperatures of the walls of the tanks located on the platform is extremely important in determining the possibility of an outbreak of flammable liquids and other highly flammable substances. Previously, the author developed a technique that allows calculating the temperature of any cylindrical metal structures under the influence of solar radiation. In the work, the author provides a comparative analysis of his own methodology for assessing thermal effects and a method for determining the thermal state based on solving the heat balance equation. Based on the studies carried out, a conclusion is made about local overvoltages and the possibility of an outbreak of stored flammable products is assessed.

Keywords: sea, stationary, platforms, temperature, self-inflating substances, heat transfer, defects, stresses.

Введение. Добыча нефти и газа ведется в сложных условиях, которые характеризуются высокой коррозионной активностью, значительными температурными и силовыми воздействиями, негативным воздействием со стороны добываемого и транспортируемого продуктов [1-5]. Большое значение имеют температурные воздействия, которые имеют значительное влияние на здания и сооружения различного назначения [6-13]. Особенно сильно влияние этих воздействий проявляется на различных металлоконструкциях, что требует учета этих воздействий при проектировании, строительстве и эксплуатации. В настоящее время в мире

активно применяются металлоконструкции различного назначения, в том числе и морские стационарные платформы. Данные сооружения являются опасными производственными объектами для которых высок риск возникновения аварийных ситуаций. Особенностью данных сооружений является их расположение на открытых не затенённых участках под действием солнечного излучения. Действие тепловых потоков от солнечного излучения приводит к формированию в них различных тепловых эффектов, в том числе и температурных напряжений. Ввиду того, что эти напряжения не являются постоянными, и при наличии

опасных коррозионных или трещиноподобных дефектов могут формировать зоны с локальными перенапряжениями, чрезвычайно важно еще на стадии проектирования оценить риски тепловых повреждений на элементы платформ. Так автором были рассчитаны коэффициенты концентрации напряжения при различной протяженности и глубине трещины в морской платформе (табл.1).

Таблица 1- Коэффициенты концентрации напряжения при различной протяженности и глубине трещины в платформе

Глубина трещины, мм	Длина трещины, мм					
	5	10	20	30	40	50
1	1,5	1,6	1,8	1,8	1,9	1,9
2	1,6	2,2	2,4	2,5	2,6	2,6
3	1,6	2,4	2,9	3,1	3,3	3,4

Величину переменных температурных напряжений $\Delta\sigma$ можно рассчитать по формуле:

$$\Delta\sigma = E\alpha\Delta T, \quad (1)$$

Где: α – коэффициент линейного расширения металла трубы; E – модуль упругости материала трубы; ΔT – расчетный перепад температур.

Морские стационарные платформы на открытых морских акваториях изображены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Морские стационарные платформы на открытых морских акваториях

Как это было сказано выше повреждениям от температурных воздействий в наибольшей степени подвержены элементы, расположенные на открытых пространствах либо вблизи источников тепловыделения [14, 15]. Так например, аномально высокая температура лета 2010 года в центральной части России привела к растрескиванию алюминиевых профилей стеклопакетов, искривлению стальных рельсовых путей наземного железнодорожного транспорта, обрушению металлического настила крыш в производственных помещениях и иным разрушениям. Поэтому определение температуры металлоконструкции является важной и актуальной задачей. Помимо этого, на морских платформах содержится легковоспламеняющиеся и горючие вещества. Как правило, эти вещества находятся в резервуарах цилиндрической формы и также подвергаются воздействию солнечного излучения. К

таким веществам относятся любые вещества, которые воспламеняются при температуре больше 61°C , продолжая после этого самостоятельно гореть без внешнего инициирования, воздействия. К этим веществам относятся: нефть, газовый конденсат, различные виды топлива, смазок, масел, мазуты, дизельное топливо для электрогенераторов. Поэтому определение температурного состояния этих резервуаров чрезвычайно важно для предотвращения самовоспламенения хранимого продукта.

В последние годы большое внимание уделяется оценке влияния тепловых потоков на различные сооружения как на суше, так и на море [1, 5, 6, 8]. Это связано как с развитием солнечной энергетики [17, 18], так и с значительным числом аварий, связанных с перегревом конструкций от воздействия. Большое внимание в последние годы уделяется термодиагностике, ключевым требованием которой является определение температуры внешней стенке объекта и поиск температурных искажений в исследуемом объекте, которые сигнализируют о наличии дефектов [19, 20]. Раздел термодиагностики, фиксирующий естественный нагрев исследуемого здания или сооружения под воздействием солнечного излучения без применения иных активных источников нагрева, получил название «пассивный».

Целью настоящей статьи является:

1. провести сравнительный анализ результатов, полученных различными методами определения воздействия солнечного излучения на здания и сооружения на примере исследования элементов морских стационарных платформ;
2. определить величину концентрации напряжений при наличии трещин на исследуемых элементах морской платформы в условиях воздействия солнечного излучения;
3. определить, возможно ли самовоспламенение хранимых в резервуарах на морских платформах самовоспламеняющихся веществ при воздействии на них солнечного излучения.

Материалы, методы и результаты исследования. Как уже говорилось раньше, основным источником нагрева в условиях морского месторождения является солнечное излучение, которое в литературе также называется солнечной радиацией. Ранее автором была предложена следующая формула для оценки температуры элементов платформы при действии на них солнечного излучения [19, 20]. Рассмотрим данный метод более подробно.

Метод №1. Первым шагом в этом методе является определение так называемой скорректированной плотности теплового потока, которая рассчитывается по формуле:

$$Q_i^{cor} = Q_i - q, \quad (2)$$

где: Q_i^{cor} - скорректированная плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$; Q_i - начальная плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$; q - отводящая от поверхности металла стенки сооружения в окружающую среду плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$ определяемая по формуле:

$$q = \gamma \alpha (t_{wall} - t_{-m}), \quad (3)$$

Где: γ – коэффициент учитывающий какая часть сооружения находится непосредственно под воздействием солнечного излучения; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(К·м²); t_{wall} – температура внешней стенки сооружения, С⁰; t_{-m} – температура окружающей среды, С⁰.

В свою очередь, коэффициент теплоотдачи α рассчитывается по формуле [19]:

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_k, \quad (4)$$

где: α_l – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(К·м²); α_k – коэффициент теплоотдачи вынужденной или свободной конвекцией, Вт/(К·м²). Детально определение этих значений и все необходимые данные приведены в работе [20].

$$T_{i+1} = T_i + 0,74 \frac{\pi R l}{m c} (Q_{i+1}^{cor} - Q_i^{cor}) \Delta t \quad (5)$$

где T_i и T_{i+1} – начальная и рассматриваемая в некоторый момент времени температура поверхности исследуемого сооружения, находящегося под действием прямого солнечного излучения; R – внешний радиус сооружения, м; l – его длина, м; 0,74 – поправочный коэффициент, учитывающий степень черноты трубы; m – масса рассматриваемого участка, кг; c – удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К⁰), Q_{i+1}^{cor} и Q_i^{cor} – начальная и конечная за рассматриваемых промежутков времени плотности теплового потока, Δt – рассматриваемый промежуток времени (продолжительность излучения), секунды;

Данная методика справедлива для любых объектов цилиндрической формы, в том числе и резервуаров.

Метод №2. В настоящей статье рассмотрим более упрощенный метод. Данный метод основан на решении уравнения теплового баланса (ТБ), установившегося между поверхностью металла стенки элемента платформы (или резервуара) и окружающей средой и имеет следующий вид:

$$Q_{sol} \cdot S \cdot \mu = h_c \cdot S \cdot (T_h - T_{air}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_h^4 - T_{air}^4), \quad (6)$$

где:

Q_{sol} – плотность потока солнечного излучения, Вт/м²;

S – площадь поверхности, находящейся под действием прямого солнечного излучения, м²;

μ – альbedo или коэффициент отражения поверхности.

h_c – коэффициент конвективной передачи тепла, Вт*м²/К⁰;

T_h – температура стенки исследуемого элемента, К⁰;

T_{air} – температура воздуха (окружающей среды), К⁰;

ε – коэффициент конвективной передачи тепла;

σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная 5.6703*10⁻⁸

Как известно, солнечная постоянная, обеспечивающая поступление на границу атмосферы Земли, составляет 1353 Вт/м². В процессе прохождения через атмосферу, и в зависимости от многих других факторов он обязательно уменьшится. В практических расчетах для условий Черного моря автором было получено значение в диапазоне от 800 Вт/м² до 1000

Вт/м², а в некоторых случаях при хорошей прозрачности атмосферы оно может достигать и 1137 Вт/м². Коэффициент конвекционной передачи тепла зависит от материала поверхности, вида конвекционной среды и других параметров. Для твердых тел, теряющих тепло при свободной конвекции воздуха коэффициент h_c меняется в диапазоне 5...25 Вт*м²/К⁰. Для поверхности стальных конструкций в воздушной среде коэффициент конвективной передачи тепла составит 7,9 Вт*м²/К⁰. Коэффициент конвекционной передачи многократно возрастает при движении конвективной среды. Примем следующие исходные данные и проведем расчет по методу теплового баланса (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты расчета по уравнению теплового баланса

Наименование	Расчетное значение
Плотность потока солнечного излучения Q_{sol} , Вт/м ²	800
Площадь поверхности, находящейся под действием прямого солнечного излучения S , м ²	800
Альbedo или коэффициент отражения поверхности, μ	0.7
Коэффициент конвективной передачи тепла h_c , Вт*м ² /К ⁰	7.9
Температура воздуха (окружающей среды) T_{air} , К ⁰	32 С ⁰ (305.15К ⁰)
Начальная температура стенки исследуемого элемента T_h , К ⁰	52 С ⁰ (325.15К ⁰)
Коэффициент конвективной передачи тепла, ε	0.84
Постоянная Стефана-Больцмана σ , Вт*м ⁻² *К ⁻⁴	5.6703*10 ⁻⁸
Конечная температура стенки исследуемого элемента T_h , К ⁰	68 С ⁰ (341.15К ⁰)

При расчете по методу №1 установлено, что при тех же условиях температура не может быть выше 62 С⁰. Определим температурные напряжения, возникающие при таком перепаде температур обоими методами. Приведем некоторые свойства сталей, от которых зависят температурные напряжения (табл.3).

Таблица 3 – Характеристика сталей конструктивных элементов МСП

Сталь	Эксплуатационная температура МСП										$\alpha, 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	
Вст3сп5, Ст10, Ст20	20,6	20,5	20,4	20,3	20,2	20,1	20	19,9	19,8	19,7	11,5
09Г2С, 17Г1С	21,6	21,5	21,4	21,3	21,2	21,1	21	20,9	20,8	20,7	11,5

Расчет по формуле (1) по первому методу показывает что величина размаха температурных напряжений $\Delta\sigma$ равна 24 Мпа. В тоже время величина размаха температурных напряжений $\Delta\sigma$, рассчитанная по методу теплового баланса равна 38 Мпа.

Рассмотрим возможность самовоспламенения некоторых горючих веществ, которые могут храниться на платформе. В таблице 4 приведены некоторые показатели самовоспламенения некоторых веществ.

Таблица 4 – Температура вспышки некоторых веществ

Наименование продукта	Температура вспышки, С°
Бензин	280
Керосин	295
Природный газ	580
Метанол	385
Нефть	400
Промысловый газ	750
Пропан	480
Пары дизельного топлива	52

Таким образом расчеты показывают, что возникающие в результате солнечного воздействия температуры в резервуарах как правило недостаточны для самовоспламенения хранимых продуктов. Однако нельзя исключать случаи, при которых при нагревании образуются пары горючих веществ у которых температура вспышки намного ниже, чем у этих веществ в жидком состоянии. Поэтому при проектировании этих резервуаров необходимо проводить детальный расчет теплового состояния резервуаров и в случае необходимости применять дополнительные защитные меры от самовоспламенения паров горючих продуктов.

Заключение. В статье приводится сравнение методик оценки влияния плотности тепловых потоков от солнечного излучения на различные металлоконструкции, расположенные на морской стационарной платформе, и создаваемые в результате этого воздействия температуры. В результате автор приходит к выводу, что для метод, основанный на решение теплового баланса, подходит для первичной приблизительной оценки создаваемых температур. В применяемом методе ТБ не учитывается масса металлоконструкции, на нагрев которой распределяется поступающая от солнца энергия. Кроме того, в этом методе не учитывается вынужденная конвекция от ветровых потоков и иные факторы, которые могут значительно повлиять на тепловое состояние металлоконструкций. Отдельно следует сказать, что крайне важным фактором является оценка длительности воздействия теплового потока, что в методе ТБ не предусмотрено. Его применение возможно только в какой-то единичный момент времени. Поэтому для более точной оценки влияния солнечного излучения на тепловое состояние металлоконструкций морской стационарной платформы рекомендуется применение метода №1.

Безусловно, сами по себе температурные напряжения, рассчитанные по разным методам от 24 Мпа до 38 Мпа незначительно повлияют на прочность металлоконструкций платформы, однако при наличии опасных трещиноподобных дефектов возможно формирование локальных зон перенапряжения с значениями более 80 Мпа и выше, в зависимости от конкретного размеров конкретного дефекта.

Анализ данных в таблице 4 показал, что получаемые в результате солнечного воздействия температуры в резервуарах в большинстве случаев недостаточны для самовоспламенения хранимых продуктов. Однако при нагреве возможно образование их паров,

температура вспышки которых намного ниже, что может представлять опасность. Поэтому при проектировании этих резервуаров необходимо проводить детальный расчет теплового состояния резервуаров и в случае необходимости применять дополнительные защитные меры.

Предложенный в работе метод расчета позволит значительно уточнить результаты, полученные в ходе проведения комплексной технической диагностики.

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/
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. Староконь И.В. Анализ зарубежных норм оценки рисков морских нефтегазовых сооружений на основе изучения нормативной документации// Естественные и технические науки. 2009. № 6 (44). С. 343-345.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий. Минздрав России, Москва 2002 <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846958.htm>
7. Селиванов Н.П., Мелуа А.И. Энергоактивные здания М.: Стройиздат, 1988. - 376 с.
8. Староконь И.В. Исследование влияния окружающей среды на тепловое состояние конструктивных элементов опорных блоков морских стационарных платформ// Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 194.
9. Перехоженцев А. Г. Влияние климатических воздействий на температурно-влажностное состояние поверхностных слоев многослойных наружных ограждающих конструкций зданий / а. Г. Перехоженцев, и. Ю. Груздо // международный научно-исследовательский журнал. — 2016. — № 4 (46) Часть 2. — С. 143—149. — URL: <https://research-journal.org/technical/vliyanie-klimaticheskix-vozdeystvij-na-temperaturno-vlazhnostnoe-sostoyanie-poverxnostnyx-sloev-mnogoslojnyx-naruzhnyx-ograzhdayushhix-konstrukcij-zdaniy/> (дата обращения: 27.08.2020.). doi: 10.18454/IRJ.2016.46.017
10. Рачкова О.Г. Влияние средств солнечной энергетики на архитектурное формообразование гелиоэнергоактивных зданий// Известия КГАСУ, 2015, № 2 (32)-с. 77-81
11. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
12. 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
13. Староконь И.В. Теоретические основы и практические результаты исследования напряженного состояния опорных блоков морских стационарных платформ// Фундаментальные исследования. 2014. № 12-5. С. 941-946.
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. Староконь И.В. О результатах численно-аналитического моделирования воздействия переменных и условно стационарных температурных полей на развитие усталостных трещин морских нефтегазовых сооружений (МНГС)// Фунда-

ментальные исследования. 2013. № 1-1. С. 153-158.

16. Луканин В.Н., Шатров М.Г. Теплотехника : учебник для вузов. - М. : Высшая школа, 2000. – 671 с.

17. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л. : Гидрометеоздат, 1984. – 506 с.

18. Самойлов Д.В. Расчет величины поступления теплоты от солнечной радиации на поверхность Земли : методические указания / под ред. Ю.В. Пешти. - М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 20 с.

19. Староконь И.В. Методика оценки воздействия солнечного излучения на температурное состояние морских стационарных платформ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12713>

20. Староконь И.В. Научные основы процессов формирования тепловых полей и перспективы применения методов термодиагностики для оценки надежности эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений. // Груды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2017. № 3. С. 70-76.

Статья поступила в редакцию 28.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0030

**ОЦЕНКА АВАРИЙНЫХ РИСКОВ С УЧЕТОМ ДИРЕКТИВЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА
ДЛЯ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

© 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. Вопросы безопасности в мировом сообществе являются приоритетным вектором для исследований и разработки алгоритма снижения аварийных рисков. Проект ARAMIS, созданный в рамках Директивы безопасности (SEVESO II) Европейского союза может быть рекомендован к внедрению на все предприятия Российской Федерации, в которых имеются аварийные риски, выраженные, в той или иной степени. В статье освещены основные аспекты оценки рисков с учетом Директивы (SEVESO II), а также рассмотрен алгоритм внедрения данного проекта на предприятия с помощью интегрального подхода, учитывающего три независимых индекса (S, M, V). С помощью каждого индекса будет составлена модель развития аварии и дана оценка ее ущерба. Внедрение сценариев, разработанных с учетом Директивы (SEVESO II) на каждом особо опасном объекте РФ позволит выработать не только эффективную политику управления аварийными ситуациями, но и профилактику их возникновения. Предложенная модель проекта ARAMIS наглядно показывает взаимосвязь независимых индексов S, M, V с опасными элементами промышленных объектов, развитием сценария аварий и последствиями, возникающими в результате их возникновения. Внедрение проекта ARAMIS с исследовательской и практической целью внесет вклад в последовательную реализацию европейской политики в области предотвращения основных опасностей на территории РФ.

Ключевые слова: авария, риски, методология, проект ARAMIS, Директива (SEVESO II), снижение, индекс, модель, безопасность.

**ASSESSMENT OF EMERGENCY RISKS TAKING INTO ACCOUNT EUROPEAN UNION
DIRECTIVES FOR INDUSTRIES INDUSTRY**

© 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. Safety issues in the world community are a priority vector for research and development of an algorithm for reducing emergency risks. The ARAMIS project, created within the framework of the Safety Directive (SEVESO II) of the European Union, can be recommended for implementation at all enterprises of the Russian Federation, in which there are emergency risks, expressed to one degree or another. The article highlights the main aspects of risk assessment taking into account the Directive (SEVESO II), and also considers the algorithm for implementing this project at enterprises using an integral approach that takes into account three independent indices (S, M, V). With the help of each index, a model of the development of the accident will be compiled and an assessment of its damage will be given. The introduction of scenarios developed taking into account the Directive (SEVESO II) at each especially hazardous facility in the Russian Federation will allow developing not only an effective policy for managing emergency situations, but also preventing their occurrence. The proposed model of the ARAMIS project clearly shows the relationship of independent indices S, M, V with hazardous elements of industrial facilities, the development of the scenario of accidents and the consequences arising from their occurrence. The implementation of the ARAMIS project for research and practical purposes will contribute to the research objectives of the European Union and to the consistent implementation of the European policy in the field of preventing the main dangers on the territory of the Russian Federation.

Keywords: accident, risks, methodology, ARAMIS project, Directive (SEVESO II), reduction, index, model, safety.

Введение. В последнее десятилетие тенденция возникновения несчастных случаев постоянно обсуждается на ежегодных докладах Европейского агентства по окружающей среде. Тенденция роста стихийных бедствий отмечается по всему Европейскому союзу [1-3]. Проблема возникновения аварий, остается ключевой с точки зрения механизма управления опасностями, а разработка рекомендаций по их снижению остается актуальной задачей для многих стран.

Растущее количество несчастных случаев в результате аварийных ситуаций и процедура их минимизации недостаточно реализована в отраслевых стандартах [4-6]. Поэтому интеграция подходов на основе оценки аварийных рисков и управление ими остается актуальной задачей мирового сообщества.

ARAMIS - это европейский проект, сущность которого заключается в разработке интегрированной модели оценки риска для опасных промышленных

объектов, сочетающих два основных подхода: риск-ориентированный и детерминированный [7], которые позволяют разработать управленческую модель для контроля и управления рисками, идентифицировать причины и разработать сценарии управления безопасностью [8-10]. При детерминированном подходе рассматриваются наихудшие сценарии развития событий (отсутствие различных устройств безопасности и политики безопасности на предприятии).

ARAMIS призван быть вспомогательным инструментом для содействия гармонизированной оценке рисков по всей Европе. Согласование по оценке промышленных рисков в Европе внесло существенный вклад в общие усилия комиссии по разработке согласованной политики в области безопасности.

Главная задача создания европейского проекта *ARAMIS* разработка и внедрение политики предотвращения несчастных случаев и профилактики, а также мер по смягчению последствий, контролируемых в системе управления безопасностью производственного процесса [11-14]. В статье представлена общая структура проекта *ARAMIS*, составленная в рамках директивы Европейского союза (*SEVESO II*), призванная к защите людей и окружающей среды от крупных аварий. Директива (*SEVESO II*) устанавливает для стран-участниц четкие цели, связанные с управлением основными опасностями выбранного сценария (взрыв, полный разрыв скважины или небольшая утечка, количество вещества, попавшего во взрыв, и т. д.) [15-17]. Российская Федерация (РФ) не входит в страны Европейского союза, однако для минимизации аварийных ситуаций на предприятиях внедрение уже апробированной другими странами системы оценки аварийных рисков с учетом Директивы (*SEVESO II*) может способствовать снижению ежегодных аварийных ситуаций на стратегических объектах нашей страны.

Цель работы заключается в интерпретации аварийных сценариев и разработке модели проекта *ARAMIS* на территории РФ с учетом Директивы (*SEVESO II*).

Результаты и обсуждение. Цель проекта *ARAMIS* - создание нового комплексного методологического подхода к оценке аварийных рисков на промышленных предприятиях [18]. Ядром данного проекта является интеграция трех независимых индексов (S , M , V) и составление деревьев-событий и зависимостей различных факторов для каждого риска. В данном случае методологический подход представляет собой интегральный подход, учитывающий три независимых индекса (S , M , V).

С помощью индекса S происходит оценка серьезности последствий из первых (эталонных) сценариев, которые составляются заранее и известны предварительно. Индекс M содержит информацию по оценке эффективности управления безопасностью во взаимосвязи с вероятностью развития сценария аварии (менеджмент безопасности). Оценка ущерба окружающей среды происходит при помощи индекса V [19-20].

Рассмотрим более подробно каждый из трех неза-

висимых индексов. Индекс серьезности S , характеризующий возможные последствия аварийных сценариев связан с физическими характеристиками явлений для расчета эффектов от взрывов (избыточное давление), пожаров (излучений), токсичных облаков (концентрации), *BLEVE*-огненных шаров (избыточного давления, радиации), выбросов загрязняющих веществ в воду (концентрации), загрязнение почвы и т.д. Индекс серьезности является независимым от двух других индексов. Таким образом, каждое опасное явление имеет соответствующий специфический субиндекс. Вклад каждого опасного явления в глобальный индекс S тесно связан с вероятностью возникновения явления, связанного с каждым критическим событием (например, вероятность воспламенения) и идентифицируется в деревьях событий. Каждый конкретный субиндекс S учитывает следующие параметры: область воздействия одного явления; кинетику явления; способность генерировать взрывоопасный эффект и т.д. Так как сценарий для каждой аварии предварительно известен, происходит оценка рисков расчетным методом и выражается при помощи коэффициентов S_o (для рисков крупных аварий) и S_{ref} (для справочных сценариев аварий).

Эффективность управления, связанная с оценкой управления безопасностью с учетом влияния внешних рисков, выражается индексом M . Индекс также определяют при помощи методологических подходов зависимости исходных событий, внешних факторов и идентификации аварийных сценариев. На рисунке 1 представлена идентификация сценария аварии. На входе развития сценария любой аварии существует опасность, которая в последующей реализации сопровождается аварийной ситуацией на предприятиях. На выходе сценария уже реализованная опасность, то есть причиненные последствия, различных масштабов.

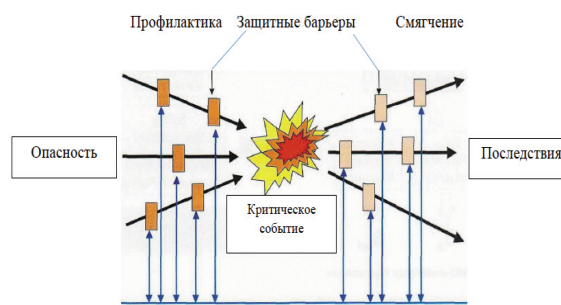


Рисунок 1 – Идентификация сценария аварийной ситуации

Согласно директиве Европейского союза (*SEVESO II*) для снижения последствий аварийных ситуаций предлагается проводить профилактику и смягчение критических событий и создавать защитные барьеры. Профилактика и организация безопасности должна включать комплект взаимосвязанных технических и управленческих линий защиты (барьеров).

В Структуру индекса M входит управление безопасностью, которое может достигаться при помощи

совершенствования систем обеспечения компетентности и заинтересованности сотрудников в данном вопросе.

Комбинация измерений гарантирует выполнение функций и условий его результативности. Качество данного измерения представляет собой поддержание общего режима безопасности, эффективность которого может быть скорректирована.

Согласно принципам, описанным в стандартах *IEC61511* и *IEC61508*, производится оценка и анализ эффективности функциональной безопасности защитных барьеров, например, контрольно-измерительные системы безопасности для технологического процесса в целом. Среди предложенных принципов анализ эффективности происходит посредством определения всех «уровней безопасности», связанных с характеристиками устройства (надежность, тестируемость, ремонтпригодность и т.д.), а также проверка ответственных за их эксплуатацию лиц.

V индекс – характеризует ущерб окружающей среды от последствия аварий при помощи разделения на сегменты при поддержке географических информационных систем (ГИС). Таким образом, модель проекта *ARAMIS* для предприятий РФ схематично можно представить в виде взаимосвязанных элементов, представлена на рисунке 2.

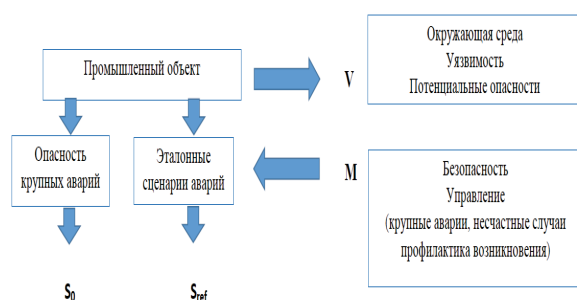


Рисунок 2 – Модель проекта *ARAMIS* для предприятий РФ

Модель включает основные этапы выявления эталонных сценариев аварий, которые являются «реалистичными». В ходе их идентификации разрабатывается алгоритм смягчения последствий с помощью построения взаимосвязи с независимыми переменными. Данные используются в отчете о безопасности *SEVESO II*. Рабочий план проекта составляют в соответствии с логическим построением конечного результирующего индекса риска.

Заключение. Таким образом, идентификация и развитие аварийных сценариев является фундаментальным моментом в оценке риска и составлении прогнозов происшествий от аварийных ситуаций. Кроме независимых коэффициентов и оценки развития событий аварийной ситуации согласно предложенной модели проекта, учитываются свойства обрабатываемых химических веществ и оборудование, которое непосредственно используется во всем производственном цикле. Согласно принятой директиве *67/548 EEC* при составлении модели развития аварийных сценариев определяются свойства веществ (классификация

и маркировки) и условия их использования (температура, давление, расход и т.д.).

Предприятия, участвующие в проекте *ARAMIS* на основе модели, будут разрабатывать сценарии развития аварийных ситуаций и разрабатывать алгоритм снижения последствий от них, обеспечивая эффективность управления и профилактику возникновения. Эти сценарии в последствии будут использованы в качестве входных данных для оценки индекса серьезности (потенциальной опасности).

ARAMIS является индикатором в области совершенствования знаний и научно-промышленных исследований, касающихся развития аварийных ситуаций опасных производственных объектов. Согласно компетентным органам Европейского союза рассматриваемый в данной статье алгоритм оценки последствий и рисков от аварийных ситуаций рекомендуется к внедрению на предприятиях нашей страны. Проект *ARAMIS* уже является инструментом, используемым компетентными предприятиями Европейского союза и признан экспертами с учетом выявленных производственных рисков.

Согласованная и уже протестированная европейскими предприятиями процедура оценки рисков будет полезным инструментом для особо опасных промышленных объектов Российской Федерации. Она объединит сильные стороны вероятностного и детерминистского подходов. Анализ аварийных ситуаций на каждом производственном объекте будет связан с реализацией планов выполнения всех структурных элементов системы управления безопасностью предприятия.

Для снижения последствий аварийных ситуаций и создания систем управления безопасностью на предприятиях необходимы дополнительные исследования, направленные на реализацию европейской политики в области предотвращения основных опасностей на территории РФ. Оценка аварийных рисков с учетом Директивы (*SEVESO II*) позволит прогнозировать и разрабатывать алгоритм сценариев развития аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bellamy, L. & Van der Schaff, J. 1999. Major Hazard Management: Technical-Management Links and the AVRIM2.
2. Method, in Seveso 2000 – Risk Management in the European Union of 2000: The Challenge of Implementing Council Directive Seveso II. Edited by EC-JRC-MAHB. Athens, Greece. 10-12 November 1999.
3. Casai Fabrega, J., Planas, E., Delvosalle, C, Fievez, C, Pipart, A. 2003. ARAMIS project: the severity index. Proc. ESREL, Maastricht, Netherlands, 16-18 June 2003.
4. Cassidy, K., Amendola, A. 1999. Special issue: The SEVESO II Directive (96/82/EC) on the control of major accident hazards involving dangerous substances, Journal of Hazardous Materials: Vol. 65, № 1-2. Elsevier Science.
5. Delvosalle, C, Fievez, C, Pipart A., Casai Fabrega J., Planas, E. 2003. ARAMIS Project: Identification of Reference Accident Scenarios in SEVESO establishments. Proc. ESREL, Maastricht, Netherlands, 16-18 June 2003.
6. Duijm, N.J., Madsen, M., Andersen, H.B., Goossens,

L., Hale, A. 2003. ARAMIS project: Assessing the effect of safety management efficiency on industrial risk. Proc. ESREL, Maastricht, Netherlands, 16-18 June 2003.

7. European Environment Agency. 1999. Environment in the European Union at the turn of the century, Chapter 3.8. Copenhagen, Denmark.

8. Hale, A.R., Guldenmund, F. & Bellamy, L. 1998. An audit method for the modification of technical risk assessment with management weighting factors. Probability and Safety Assessment and Management Springer. London. 2093-2098.

9. Hourtolou, D. 2002. ASSURANCE - Assessment of the Uncertainties in Risk Analysis of Chemical Establishments. E.C. Project ENV4-CT97-0627. Rapport final option a DRA-07. Ref. INERIS-DHo- 2002-26824

10. Kirchsteiger C. 1999. Special Issue on International Trends in Major Accidents and Activities by the European Commission towards Accident Prevention, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 12 № 1. Elsevier Science.

11. Kirchsteiger, C. & Cojazzi, G. (ed.). 2000. Promotion of technical harmonisation on risk-based decision-making, Proc. intern. workshop, Stresa, Italy, 22-24 May 2000.

12. Lauridsen K., Kozine, I., Markert, F., Amendola, A., Christou, M. & Fiori M. 2002. The ASSURANCE project. Final summary report.

13. Lauridsen K., Kozine, I., Markert, F., Amendola, A., Christou, M. & Fiori M. 2002. The ASSURANCE project. Final summary report.

14. Plot, E. & Lecoze J.C. 2002. MIRIAM: an integrated approach to organise major risk control in hazardous chemical establishments. ESREDA 23rd Seminar, Delft, Netherlands, 18-20 November 2002.

15. Tixier, J., Dusserre, G., Dandrieux, A., Bubbico, R., Luccone, L.G., Mazzarotta, B., Silvetti B., Hubert, E. 2003. ARAMIS project: Assessment of the environment vulnerability in the surroundings of an industrial site. Proc. ESREL, Maastricht, Netherlands, 16-18 June 2003.

16. Международный договор Директива от 04 июля 2012 года № 2012/18/ЕС. «О контроле крупных аварий, связанных с опасными веществами, изменяющая и впоследствии отменяющая Директиву 96/82/ЕС Совета ЕС». Опубликовано в Официальном журнале N L 197, 24.7.2012. С. 1

17. Seveso: Before and After the Disaster. greenprograms/a/Seveso-TCDD.htm.

18. Лисанов М. В., Азаров Н. И., Давидюк О. В. Предупреждение промышленных аварий на Директив Се-везо // Безопасность труда в промышленности. URL: http://programs.safety.ru/BTP/2006_12/06_12_42-47.pdf.

19. Friend, M. A., & Kohn, J. P. (2014). Fundamentals of Occupational Safety and Health. Lanham: Bernan Press, 2014.

20. Фролова Н.А., Козырь А.В. Системный подход в обеспечении безопасности на гонных предприятиях // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: материалы I нац. науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во: СГАУ, 2019. – С. 313-318.

Статья поступила в редакцию 04.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 699.82

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0031

КОМПОЗИТНЫЕ РАСТВОРЫ С ДОБАВКАМИ МИКРОЦЕЛЛЮЛОЗЫ

© 2020

Панфилова Марина Ивановна, кандидат химических наук,
доцент кафедры «Физика и строительная аэродинамика»

*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 (РУТ(МИИТ)), Российская открытая академия транспорта
(125190, Россия, Москва, Часовая ул., 22/2, e-mail: nZubrev@mail.ru)*

Леонова Данута Амброжьевна, старший преподаватель кафедры «Физика и строительная аэродинамика»

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: 012340@mail.ru)*

Журавлева Маргарита Анатольевна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Высшая математика и естественные науки»

*Российский университет транспорта (МИИТ)
(125190, Россия, г. Москва, улица Часовая, 22/2, e-mail: crane_64@mail.ru)*

Андреева Валерия Юрьевна, студент

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: 10040699@mail.ru)*

Аннотация. Для модифицирования строительных материалов широко используются целлюлозные наноструктурные элементы. Рассмотрена возможность вовлечения микрокристаллической целлюлозы в качестве модификаторов структуры композитных растворов на этапе процесса отверждения. Исследовано структурообразование в композитных растворах с различным содержанием микроцеллюлозы в начальный период до перехода в отвержденное состояние. Установлено, что при введении микрокристаллической целлюлозы в композитный раствор структурообразование системы увеличивается. Выявлено, что добавки концентраций микроцеллюлозы ускоряют время отверждения композитного раствора в 2-4 раза по сравнению с контрольным образцом, ускоряют гидратацию клинкерных составляющих цемента, тем самым приводя к ускорению структурообразования композитных растворов и, как следствие, уменьшению сроков потери их текучести. Показано, что наибольшая скорость структурообразования достигается при использовании композитного раствора на основе бентонита марки П2Т2А с оптимальной добавкой микроцеллюлозы 0,01% к массе цемента, при которой время схватывания раствора достигает оптимального значения, и может быть рекомендована для обеспечения промышленной безопасности подземных сооружений.

Ключевые слова: композитные растворы, микрокристаллическая целлюлоза, кинетика структурообразования.

COMPOSITE SOLUTIONS WITH ADDITIVES OF MICROCELLULOSE

© 2020

Panfilova Marina Ivanovna, candidate of chemical Sciences,
associate Professor of the Department of «Physics and Building Aerodynamics»
*National research Moscow state University of civil engineering
(26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia, e-mail:012340@mail.ru)*

Zubrev Nikolay Ivanovich, candidate of technical Sciences, professor of the Department
«Higher mathematics and natural Sciences»

*Russian University of transport (RUT (MIIT)), Russian open Academy of transport
(22/2 chasovaya str., Moscow, 125190, Russia, e-mail: nZubrev@mail.ru)*

Leonova Danuta Ambrogiana, senior lecturer at the Department of «Physics and Building Aerodynamics»

*National research Moscow state University of civil engineering
(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: 012340@mail.ru)*

Zhuravleva Margarita Anatolyevna, candidate of technical Sciences,
associate Professor of the Department of «Higher mathematics and natural Sciences»

*Russian University of transport (RUT (MIIT)), Russian open Academy of transport
(22/2 chasovaya str., Moscow, 125190, Russia, e-mail: crane_64@mail.ru)*

Andreeva Valeria Yuryevna, student

*National research Moscow state University of civil engineering
(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: gpetrov962@gmail.com)*

Annotation. Cellulose nanostructured elements are widely used for modifying building materials. The possibility of involving microcrystalline cellulose as modifiers of the structure of composite solutions at the stage of the curing process is considered. Structure formation in composite solutions with different content of microcellulose in the initial period before the transition to the cured state is studied. It was found that when microcrystalline cellulose is introduced into the composite solution, the structure formation of the system increases. It was found that the additives of microcellulose concentrations accelerate the curing time of the composite solution by 2-4 times compared to the control sample, accelerate the hydration of the clinker components of cement, thereby leading to an acceleration of the structure formation of composite solutions and, as a result, a reduction in the time of loss of their fluidity. It is shown that the highest rate of structure formation is achieved when using a composite solution based on p2t2a bentonite with an optimal addition of 0.01% microcellulose to the mass of cement, at which the setting time of the solution reaches the optimal value, and can be recommended for industrial safety of underground structures.

Keywords: composite solutions, microcrystalline cellulose, structure formation kinetics

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется вовлечению отходов производства в хозяйственный оборот с целью их использования в ресурсосбережении компонентов материалов и улучшения основных технологических показателей получаемых строительных материалов [1–12].

Для модифицирования строительных материалов широко используются целлюлозные наноструктурные элементы двух типов – микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) и бактериальная целлюлоза.

В строительстве МКЦ используют как наполнитель. В последнее время появились работы связанные с исследованием добавок МКЦ [13-17].

Одним из наиболее эффективных методов модифицирования композитных цементных растворов является добавка целлюлозных нановолокон [18].

Известно, что введение добавок нановолокон *Technocel* 500-1 приводит к снижению водоотделения при потере текучести строительных растворов, повышению морозостойкости и прочности [19].

Исследования, проведенные авторами работы [20] позволили найти добавку низкомолекулярной микроцеллюлозы, а именно 12×10^{-4} % от массы гипса, которая позволила сократить сроки схватывания гипсового теста и повысить прочность (на изгиб в 1,8 раза, на сжатие в 1,5 раза) гипсового камня.

Установлено, что при содержании 2,4% МКЦ от массы в ячеистом газобетоне происходит увеличение его прочности до 60% [21].

В практике использования инъекционных раство-

ров большое значение имеет исследование различных добавок на скорость структурообразования вплоть до их потери текучести.

Поэтому наряду с такими неорганическими модифицирующими добавками такими как сера, зола, УНТ было проведено исследование добавок наносоединений полученных из природной среды, к которым и относится микроцеллюлоза.

Цель исследования – изучить кинетику набора прочности композитных растворов при различном содержании целлюлозы.

Материалы и результаты исследования. Основными компонентами композитного раствора служили: бентонит марки П2Т2А, микроцеллюлоза, цемент М500 и жидкое стекло. Водоцементное соотношение в композитной системе 2:1.

Микрокристаллическая целлюлоза - представляет собой белый или почти белый порошок, практически не растворимый в воде, в кислоте и большинстве органических растворителей, а также слабо растворим в разбавленном растворе гидроксида натрия, технические характеристики которой представлены в таблицах 1 и 2 (согласно паспорта и контроля качества, номер серии: *D107108466*).

Изучали кинетику набора прочности композитных растворов при содержании МКЦ от 0,001% до 0,01%, от массы цемента до потери текучести раствора.

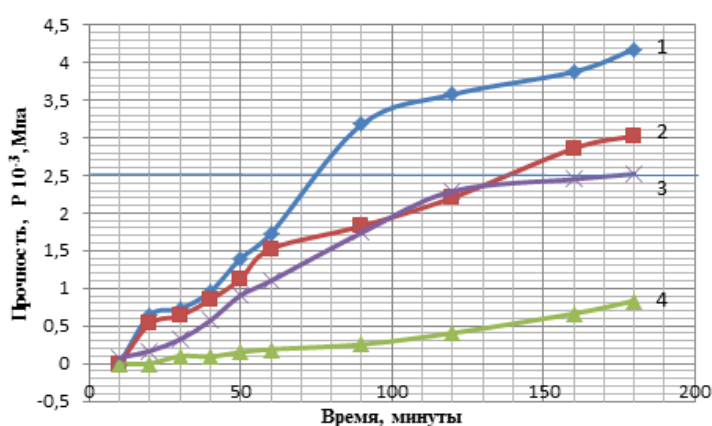
На рисунке 1 показана кинетика структурообразования композитного раствора от содержания МКЦ в смеси.

Таблица 1 – Характеристики полученные при фармакопейном тесте

Фармакопейный тест	Результаты исследования на серию
Идентификация А (Тест с цинка хлоридом)	Пройден
Идентификация В (степень полимеризации)	Соответствует
Растворимость (меди тетрамина раствор)	Соответствует
pH	6,60
Проводимость	41 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Водно-растворимое вещество	0,1315%
Эфирно-растворимое вещество	0,0283%
Потери при высушивании	3,369%
Тяжелые металлы	Соответствует
Несгораемый остаток/сульфатированная зола	0,0290 %

Таблица 2 – Физические характеристики материала

Стандарты	Результаты исследования на серию
Насыпная плотность	0,3095 г/мл
Количественное определение (сухое вещество)	99,60%
Ситовой анализ (% удержания)	
60 меш	1,010%
200 меш	59,70%
Распределение частиц по размеру:	
D10	23 μ
D50	91 μ
D90	193 μ
Черные частицы	05

Рисунок 1- Кинетика структурообразования при различном содержании целлюлозы к массе цемента, %
1-0,01 %; 2-0,05 %; 3-0,00 %; 4-0,1 %

Время схватывания композитной смеси определяли по пересечению кривых приведенных на рисунке с прямой, соответствующей прочности потери текучести, а именно $2,5 \cdot 10^{-3}$ МПа.

Наибольшее снижение времени схватывания было отмечено при введении 0,01% к массе цемента, что соответствует времени отверждения примерно 75 минут (рис. 2) (согласно ГОСТ 10178-76).

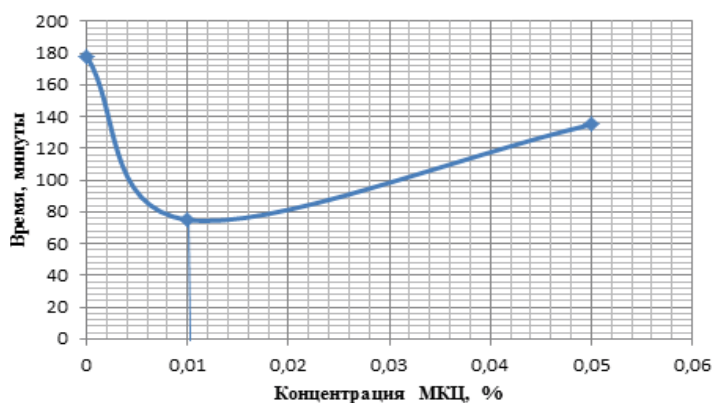


Рисунок 2 – Изменение продолжительности схватывания композитной смеси от добавок МКЦ

Увеличение скорости структурообразования при добавке МКЦ 0,01% можно объяснить соответствием наполнения оптимального соотношения ее микрочастиц в пространстве цементного камня.

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что добавки МКЦ ускоряют гидратацию клинкерных составляющих цемента, что приводит к ускорению структурообразова-

ния композитных растворов и, как следствие, уменьшению сроков потери их текучести.

Определена оптимальная концентрации МКЦ, при которой скорость структурообразования достигает максимальных значений. Выявлено, что оптимальная добавка МКЦ ускоряет время отверждения композитного раствора в 2-4 раза по сравнению с нулевым образцом.

Вероятно, данный эффект можно объяснить за счет особенности их строения, обеспечивающее наибольшую адгезию при гидратации в пространстве формирования цементного камня.

Установлено, что оптимальная концентрации МКЦ 0,01% к массе цемента, при которой время схватывания раствора достигает оптимального значения, и может быть рекомендована для обеспечения промышленной безопасности подземных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Керене Я, Фишер Х.-Б., Рахимова Н.Р., Бурьянов А.Ф. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 90–95.
2. Токарев Ю.В., Гинчицкий Е.О., Гинчицкая Ю.Н., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И. Влияние комплекса добавок на свойства и структуру гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 84–89.
3. Потапова Е.Н., Исаева И.В. Влияние добавок на водостойкость гипсового вяжущего // Сухие строительные смеси. 2012. № 5. С. 38–41.
4. Рамачандран В.С. Добавки в бетон [Текст]: справочное пособие / В.С. Рамачандран [и др.]. - Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
5. Филиппова К.Е., Кулаковский В.А., Лукина Ю.Ю. Влияние цеолитсодержащей добавки на сроки схватывания и водостойкость гипсовых вяжущих веществ // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 8. С. 38–41.
6. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с добавками извести и молотой керамзитовой пыли // Вестник МГСУ. 2013. № 12. С. 109–117.
7. Сегодня Д.Н., Потапова Е.Н. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее с активной минеральной добавкой метакаолин // Успехи в химии и химической технологии. 2014. № 8 (157). С. 77–79.
8. Изряднова О.В., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Фишер Х.-Б., Сеньков С.А. Изменение морфологии кристаллогидратов при введении ультра- и нанодисперсных модификаторов структуры в гипсоцементно-пуццолановые вяжущие // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 25–27.
9. Чернышева Н.В. Использование техногенного сырья для повышения водостойкости композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 53–56.
10. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. 320 с.
11. Ауэлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микрокристаллическая целлюлоза: структура, свойства и области применения (обзор) // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 33–41.
12. Алешина Л.А., Гуртова В.А., Мелех Н.В. Структура и физико-химические свойства целлюлоз и нанокompозитов на их основе. Монография. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 240 с.
13. Филипп, Б. Влияние различных параметров реакции на гетерогенный гидролитический распад целлюлозы при получении микрокристаллического целлюлозного порошка / Б. Филипп, Х.-Х. Штеге // Химия древесины. 1976. №2. С. 3-9.
14. Battista, O. Microcrystalline cellulose / O. Battista, P. Smith // Industrial and Engineering Chemistry. 1962. Vol. 54. Pp. 20-29.
15. Battista, O. A. Colloidal macromolecular phenomena / O.A. Battista // American Scientists. 1965. Vol. 53. №2. Pp. 151-

173.

16. Ardizzone, S. Microcrystalline cellulose powders: structure, surface features and water sorption capability / Ardizzone S. et al // Springer Series: Cellulose. 1999. Vol. 6. №1. Pp. 57-69.

17. Будаева, В.В. Получение лигноцеллюлозных материалов из недревесного сырья и исследование их в качестве субстратов ферментативного гидролиза // Ползуновский вестник. №1. 2013. С. 215-219.

18. Оптимизация составов цементных композиций, наполненных цеолитами / В. П. Селяев, А. К. Осипов, Л. И. Курприашкина [и др.] // Изв. Вузов. Серия Строительство. 1999. №4. С.36-39.

19. Сураева Е.Н. Разработка сухих строительных смесей с биоцидными свойствами: дис. канд. тех. наук. Саранск. 2015. С. 25-29.

20. Пыкин А.А., Лукутцова Н.П., Лукаш А.А. [и др]. Свойства и структура строительного гипса с микрокристаллической целлюлозой // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 12. С. 55-61.

21. Акимов А.В. Разработка ячеистого дисперсно-армированного бетона автоклавного твердения модифицированного активными минеральными добавками: диссертация канд. тех. наук: Иваново. 2016. С.122-127.

Статья поступила в редакцию 05.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 340.131.4

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0032

**ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ В ЦЕЛЯХ
ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРРОРИЗМУ**

© 2020

Романовский Георгий Борисович, доктор юридических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Уголовное право»**Романовский Владислав Георгиевич**, кандидат юридических наук, доцент кафедры «Уголовное право»
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mail:vlad93@sura.ru, up406@mail.ru)

Аннотация. В статье анализируются законодательство Российской Федерации в части установления обязательных требований к деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, обусловленных противодействием террористическим угрозам. Показано, что актуальность приобретает борьба с катастрофическими проявлениями террористических атак, нацеленных, в том числе, на критическую инфраструктуру. Это предполагает участие в профилактической деятельности всех организаций независимо от форм собственности. Показана связь особого режима экономической деятельности в условиях противодействия терроризму с понятием мобилизационной экономики. Вводится специальное понятие антитеррористической защищенности объектов, регулируемое как Федеральным законом «О противодействии терроризму», так и принятыми в его развитие Постановлениями Правительства Российской Федерации. Обращено внимание на правила взаимодействия операторов связи с уполномоченными государственными органами, осуществляющими оперативно-разыскную деятельность. Аналогичные правила введены в ряде зарубежных стран. Кроме того, за рубежом допускается проведение таких мероприятий, как «массовое хакерство» от имени правоохранительных органов, сбор персональных данных и создание массивов метаданных на их основе. В статье указывается, что в российских правовых актах не урегулирован вопрос компенсаций определенных потерь организаций в силу особых режимов деятельности.

Ключевые слова: безопасность, организация, терроризм, противодействие, законодательство, обязанности, технические требования.

**LEGAL FRAMEWORK FOR ENSURING THE SECURITY OF ORGANIZATIONS FOR THE
PURPOSE OF COUNTERING TERRORISM**

© 2020

Romanovsky Georgy Borisovich, doctor of Law, Professor, head of the Department of Criminal Law
Romanovsky Vladislav Georgievich, candidate of Legal Sciences,
associate Professor of the Department of Criminal Law
Penza State University
(440026, Russia, Penza, Krasnaya street, 40, e-mail:vlad93@sura.ru, up406@mail.ru)

Abstract. The article analyzes the legislation of the Russian Federation in terms of establishing mandatory requirements for the activities of legal entities and individual entrepreneurs, due to countering terrorist threats. It is shown that the fight against catastrophic manifestations of terrorist attacks, aimed, inter alia, at critical infrastructure, is gaining relevance. This presupposes participation in preventive activities of all organizations regardless of their form of ownership. The connection of the special regime of economic activity in the context of countering terrorism with the concept of a mobilization economy is shown. A special concept of antiterrorist security of facilities is introduced, which is regulated both by the Federal Law "On Countering Terrorism" and by the decrees of the Government of the Russian Federation adopted in its development. Attention is drawn to the rules for interaction of telecom operators with authorized state bodies carrying out operational-search activities. Similar rules have been introduced in a number of foreign countries. In addition, abroad, it is allowed to conduct such events as "mass hacking" on behalf of law enforcement agencies, collecting personal data and creating metadata arrays on their basis. The article indicates that Russian legal acts do not regulate the issue of compensation for certain losses of organizations due to special regimes of activity.

Keywords: security, organization, terrorism, counteraction, legislation, duties, technical requirements.

Введение. Проблемы противодействия терроризму носят многоаспектный характер. Во многих странах основной мерой борьбы выступает уголовная ответственность за преступления террористического характера. Российская Федерация – не исключение. В Уголовном кодексе Российской Федерации можно наблюдать как общий состав – террористический акт (который имеет давнюю историю правового закрепле-

ния; статья 205), – так и специальные, получившие свое развитие в условиях нарастания террористических угроз. Зарубежный опыт показывает, что в ряде европейских стран долгое время вообще отсутствовала дифференциация такого вида преступления. Лица, виновные в совершении криминальных действий, привлекались к ответственности по общеуголовным составам, где лишь мотивация могла влиять на назна-

чение наказания (в сторону отягчения).

Современное информационное общество показывает, что на первый план противодействия преступным посягательствам выходят профилактические предупредительные меры. Терроризм, по мнению многих криминологов, может носить катастрофический характер [1 – 3]. Посягательства на критическую инфраструктуру – цель многих организаций, желающих нанести максимальный урон государству-противнику. Яркий пример – 11 сентября 2001 года, – когда несколько террористов своей атакой на башни-близнецы Всемирного торгового центра унесли мирных жизней больше, чем 300 японских самолетов в декабре 1941 года во время налета на военную базу в гавани Перл-Харбор. Приобретает актуальность борьба с кибертерроризмом. Цифровое пространство осваивается не только в общественно полезных целях. Не являются чем-то экстравагантным высказывания «цифровой Халифат» и «Кибер-Джихад» как в средствах массовой информации, так и в устах представителей спецслужб [4, 5]. В системе профилактических мероприятий задействуются не только органы государственной и муниципальной власти, но и предприятия, учреждения вне зависимости от формы собственности. Универсальность террористических угроз обуславливает всеобщее вовлечение в проведение мероприятий по безопасности. Данная ситуация заставляет несколько иначе трактовать понятие мобилизационной экономики, которое длительное время рассматривалось как состояние народного хозяйства в условиях внешней угрозы и мобилизации внутренних ресурсов [6]. Это – классический подход, объединенный с понятием «экономики войны» [7].

Исходя из приведенных обстоятельств, целью данной статьи является исследование актуальных проблем законодательного, нормативного и правового регулирования безопасности организаций в условиях противодействия террористическим угрозам.

Материалы и результаты. Российскими учеными предлагается широкий подход к пониманию мобилизационной экономики, где в центре поставлен регуляционный метод со стороны институтов публичной власти. Государство с помощью прямых и косвенных рычагов воздействия решает актуальные задачи для современного этапа развития [8]. Именно поэтому термин «мобилизационная экономика» все чаще можно услышать применительно к современному состоянию нашей страны, где причины такого толкования находятся в: 1) санкционной политике наших Западных партнеров; 2) необходимости стремительного роста; 3) повышении конкурентности отечественных товаров на международном рынке; 4) интенсификации промышленного производства и др. [9].

Российское законодательство предусматривает различные особые правовые режимы экономической деятельности, обусловленные экстраординарными ситуациями. Статья 2 Федерального закона от 31 мая 1996 г. № 61-ФЗ «Об обороне» предусматривает в общих чертах подготовку к быстрому переходу эко-

номики страны на «военные рельсы» (от формирования планов до создания материального резерва). Обязанность по специальной готовности к переформатированию производственного цикла для всех типов организаций содержат также Федеральный закон от 26 февраля 1997 г. № 31-ФЗ «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» и Федеральный закон от 29 декабря 1994 г. № 79-ФЗ «О государственном материальном резерве».

Некоторые правила регулирования экономической деятельности в особых условиях предусмотрены Федеральным законом от 6 марта 2006 г. № 35-ФЗ «О противодействии терроризму». Однако данный нормативный акт определяет лишь обязанности организаций и только применительно к обеспечению режима контртеррористической операции (КТО). Статья 11 не содержит каких-то исключительных положений, применимых только к субъектам предпринимательской деятельности, а определяет режим КТО, в рамках которого распределены те или иные обязанности (граждан или юридических лиц). Исходя из этого, чтобы выделить элементы обеспечения безопасности в организациях, необходимо проанализировать все обозначенные мероприятия и провести классификацию. Так, в рамках КТО допускаются следующие ограничения, налагаемые на экономическую деятельность:

- приостановление деятельности опасных производств и организаций, в которых используются взрывчатые, радиоактивные, химически и биологически опасные вещества;
- приостановление оказания услуг связи юридическим и физическим лицам или ограничение использования сетей связи и средств связи;
- введение карантина, проведение санитарно-противоэпидемических, ветеринарных и других карантинных мероприятий;
- ограничение или запрещение продажи оружия, боеприпасов, взрывчатых веществ, специальных средств и ядовитых веществ, установление особого режима оборота лекарственных средств и препаратов, содержащих наркотические средства, психотропные или сильнодействующие вещества, этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции [10].

Законодательство предусматривает также дополнительные обязанности организаций по обеспечению антитеррористической безопасности. Модель закрепления таких обязанностей отличается некоторой неопределенностью. Статья 3 Федерального закона «О противодействии терроризму» предусматривает общее понятие антитеррористической защищенности объекта (территории). В статье 5 Закона закрепляются полномочия Правительства РФ, среди которых установление обязательных требований к антитеррористической защищенности объектов, а также иных обязательств, вытекающих из указанных требований (в частности, утверждение порядка разработки и формы паспорта безопасности таких объектов). С точки зрения юридической техники правильным выглядит опыт Республики Казахстан, где статья 10-2 Закона

Республики Казахстан от 13 июля 1999 года № 416-І «О противодействии терроризму» закрепляет: «Для защиты объектов, уязвимых в террористическом отношении, осуществляются правовые, организационные, инженерно-технические, специальные, охранные и иные меры по повышению уровня антитеррористической защищенности этих объектов и готовности государственных органов, юридических лиц к ликвидации и (или) минимизации последствий актов терроризма». Реализация указанного правила обеспечивается целым перечнем обязанностей, возлагаемых на собственников, владельцев, руководителей или иных должностных лиц объектов, уязвимых в террористическом отношении. В числе обязательных мер: установление пропускного режима, специальное обучение персонала, защита информационных сетей, участие в тренировках по ликвидации возможных угроз и др. Кроме того, статья 23-2 определяет обязательность проведения проверок за соблюдением должностными лицами указанных объектов установленных мероприятий. Сами проверки проводятся не реже одного раза в год, а срок проверки не может превышать семь дней. Проверяющий орган – министерство внутренних дел. Проверка проводится в соответствии с проверочным листом, в котором определены требования к объекту. По результатам проверки составляется акт [11].

В нашей стране в развитие установленных положений об антитеррористической защищенности объектов принято более 30 постановлений Правительства РФ. Финансовое бремя по обеспечению антитеррористической защищенности объектов возлагается на их собственников.

Следует обратить еще на один аспект обеспечения безопасности в целях противодействия терроризму, в рамках которого определеннее обязанности возлагаются на юридические лица. Это связано с внедрением технического оборудования, позволяющего вести круглосуточный контроль за электронным общением. Одним из первых актов, устанавливающих подобную обязанность для всех операторов связи, был Патристический акт, принятый в США в ответ на атаку 11 сентября 2001 года. В ходе проведенного расследования было выявлено, что происходила фиксация переговоров террористов с координаторами их действий за рубежом. Однако законодательство не позволяло осуществлять оперативную обработку данных, расшифровку и реакцию на выявленные факты со стороны правоохранительных органов. Как следствие, было предложено активизировать внедрение системы автоматизированного отслеживания информации. ФБР использует программу «*Carnivore*» (переводится как «Хищник»), позволяющую анализировать различные сведения не только с интернет-страниц, но и серверов электронной почты [12]. Сбор осуществляется по определенным критериям. Американскими спецслужбами используются и другие программы: *Omnivore* и *Etherpeek*. В нашей стране создана своя автоматическая, имеющая сокращенное название СОРМ [13]. Приказами Минкомсвязи утверждены соответствующие

правила применения оборудования (все четыре части – приказы утверждались с 2012 по 2018 гг.).

Постановлением Правительства РФ от 27 августа 2005 г. № 538 утверждены Правила взаимодействия операторов связи с уполномоченными государственными органами, осуществляющими оперативно-разыскную деятельность. Таким уполномоченным органом обозначена Федеральная служба безопасности России. И только в случае отсутствия технических средств у органов ФСБ функции уполномоченного органа выполняют органы внутренних дел. Ввод в эксплуатацию технических средств в сети связи оператора связи производится в соответствии с разработанным органом федеральной службы безопасности совместно с оператором связи планом мероприятий по внедрению технических средств, в котором указывается, в частности, срок ввода в эксплуатацию технических средств. Типовые требования к плану мероприятий по внедрению технических средств для проведения оперативно-разыскных мероприятий утверждены совместным Приказом Минкомсвязи России № 391, ФСБ России № 437 от 1 августа 2017 г. Пошаговые инструкции (размещены на сайте Роскомнадзора) взаимодействия представлены в Методических рекомендациях по порядку действий по обеспечению выполнения обязательных требований в части организации на сетях электросвязи системы оперативно-разыскных мероприятий (СОРМ) и Методических рекомендациях по порядку действий лиц, впервые получающих лицензию на оказание услуг связи. Оператор связи должен своевременно обновлять информацию, касающуюся потребителей услуг связи, Операторы связи также должны систематизировать информацию (и осуществлять ее хранение) относительно всех оказанных услуг связи, в том числе о фактах приема, передачи, доставки и иной обработки текстовых (звуковых, видео, аудио и иных) сообщений, телефонных переговоров. Указанная информация должна храниться оператором связи в течение 3 лет на территории Российской Федерации и предоставляться органам Федеральной службы безопасности путем осуществления круглосуточного удаленного доступа к базам данных. Обязанность по систематизации, сбору и хранению информации возникли в результате принятия так называемого «пакета Яровой» (хотя инициатором закона была не только депутат Государственной Думы РФ И. Яровая, но и другие депутаты), в который вошли два нормативных акта: Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 374-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О противодействии терроризму" и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности» и Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 375-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности».

Анализируя зарубежное законодательство и сопоставляя его с российскими правилами, можно заявлять, что в этой части мы движемся в общем направлении. Правотворческая политика показывает единство в своем развитии. Выше упоминался Патриотический акт, который, напомним, был принят в 2001 году. Уже тогда он возлагал обязанности на операторов связи. На европейском пространстве была принята Директива 2006/24/ЕС от 15 марта 2006 г. [14], которая, пожалуй, впервые установила режим обязательного хранения электронных данных на территории Европы. Документ обязала всех интернет-провайдеров и поставщиков телекоммуникационных услуг, работающих в Европе, собирать и хранить в течение от шести месяцев до двух лет входящие и исходящие телефонные номера абонента, IP-адреса, данные о местоположении и другие ключевые данные о телекоммуникационном и интернет-трафике. В обосновании директивы указывалось, что некоторые европейские страны уже приняли соответствующие правила хранения электронного контента. Необходимы их систематизация и создание единых правил. В 2014 г. Директива была отменена, но это создало обратную реакцию. Страны – участницы Европейского Союза стали принимать собственные правила, которые во многом повторяли положения Директивы (точнее ужесточали требования, предъявляемые к операторам связи, а также расширяли полномочия национальных спецслужб). В Великобритании своеобразным ответом стал Закон от 29 ноября 2016 г. о полномочиях на проведение расследования [15]. Он имел общую парламентскую поддержку, в Палате общин был принят подавляющим большинством, 281 – за, против – 15. И это несмотря на общественную критику, которая развернулась в Интернете и средствах массовой информации. Закон приобрел жаргонное название – «Хартия спулеров» («*Snoopers' Charter*»; *Snooper* – ищейка, глагол: совать нос в чужие дела). В Российском пространстве ему дают разнообразный перевод – «Хартия ищейек», Закон Шерлок Холмса. «Хартия ищейек» устанавливает массовое хранение всех коммуникационных данных и истории интернета в течение года. Кстати, если анализировать данный закон, то он весьма продвинул в сторону расширения полномочий спецслужб. Допускается ведение таких мероприятий, как «массовое хакерство» от имени правоохранительных органов, сбор персональных данных и создание массивов метаданных на их основе. Показательно, что серьезный акцент делается на проведении профилактических мер, направленных на создание дополнительных препятствий функционированию террористической сети. Британские спецслужбы учитывают факторы современного информационного общества и требуют особых экстраординарных полномочий. Несмотря на критические замечания, общественная и политическая элита Великобритании согласны с подобными требованиями, чему свидетельствуют законодательные акты парламента. Однако, как и во многих странах мира, наиболее спорные документы принимаются в ускоренном режиме, что

обуславливает возмущение со стороны правозащитных организаций.

В Российской Федерации обязанность операторов связи по установке специального оборудования была оспорена в судебном порядке. Истцом выступило общество с ограниченной ответственностью «Теле-Маг», ссылавшееся на практику Европейского Суда по правам человека и Конституционного Суда России. Решение Верховного Суда Российской Федерации от 19 декабря 2018 г. № АКПИ18-1109 (вынесенное судом по первой инстанции) по исковому заявлению ООО «Теле-Маг» основывалось на системном анализе норм различных федеральных законов «Об оперативно-розыскной деятельности», «О связи», «О персональных данных» и др. В нем подчеркивалось, что предоставление круглосуточного доступа не означало его бесконтрольность и произвольность. В Апелляционном определении Апелляционной коллегии Верховного Суда РФ от 5 марта 2019 г. № АПЛ19-53 можно увидеть краткое обоснование, согласно которому ссылки ООО «Теле-Маг» несостоятельны, «поскольку обжалованное решение суда первой инстанции вынесено на основе действующих положений закона, регулирующих рассматриваемые правоотношения и обязывающих в определенных законом случаях операторов связи предоставлять уполномоченным государственным органам информационное содействие, которые не признавались неконституционными».

Возложение материального бремени за функционирование режима безопасности только на организации обуславливает его перевод на конечного потребителя, что автоматически приводит к подорожанию товаров и услуг. Так, введение обязанности хранить данные операторами связи привело к постепенному повышению платы и отказу от инвестиционной политики некоторых компаний. По-видимому, государство должно задумываться и об этой стороне вопроса, вводя те или иные требования. Ярким примером может служить ситуация с коронавирусом, сложившаяся в начале 2020 г., создавшая дополнительные трудности для экономики страны. Постановлением Правительства РФ от 2 апреля 2020 г. № 417 были утверждены Правила поведения, обязательные для исполнения гражданами и организациями, при введении режима повышенной готовности или чрезвычайной ситуации. Анализ закрепляемых обязанностей, устанавливаемых для организаций, показывает, что основное финансовое бремя за обеспечение безопасности объектов возлагается на собственника организации. В зависимости от обстановки могут приниматься различные решения: от эвакуации граждан и предоставления средств коллективной и индивидуальной защиты до приостановления деятельности. Кроме того, организации обязаны проводить «мероприятия по повышению устойчивости функционирования организаций и обеспечению жизнедеятельности своих работников в чрезвычайных ситуациях».

Правовой основой для введения различных режимов борьбы с пандемией стал Указ Президента РФ

от 2 апреля 2020 г. № 239 «О мерах по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения на территории Российской Федерации в связи с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19)», в соответствии с которым в субъектах Российской Федерации высшим должностным лицом (главой региона) были приняты соответствующие постановления (распоряжения). Содержание указанных документов идентично. Во всех субъектах Российской Федерации был объявлен режим «повышенной готовности». Объявленные меры напрямую коснулись экономического благосостояния значительного числа субъектов предпринимательской деятельности [16, 17]. Многие предприятия были временно закрыты (ввиду объявления нерабочих, но оплачиваемых дней, что легло дополнительной финансовой нагрузкой на собственников). Приостановлено транспортное сообщение между регионами. Был объявлен режим самоизоляции, предполагающий ограниченные возможности покидания гражданином основного места жительства.

Заключение. Подобные жесткие ограничения сказались на экономических показателях. Центральный банк России в конце апреля 2020 г. объявил первый прогноз, согласно которому падение ВВП оценено в 4–6 % [18]. В конце мая 2020 г. Минэкономразвития России представил Картину деловой активности за апрель 2020 г., согласно которой падение ВВП в апреле составило 12% [19]. По многим принятым мерам идут дискуссии об их необходимости и обоснованности. В любом случае следует согласиться с А.А. Моховым: «Необходимые ограничения и запреты должны быть ясными и понятными экономическим агентам, соразмерными сложившейся или складывающейся ситуации, обстановке, не препятствовать функционированию экономики в целом и (или) ее отдельных отраслей, секторов» [20]. В другой своей работе (подготовленной еще в 2013 г.) А.А. Мохов отмечал, что при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации могут пострадать субъекты экономической деятельности. При этом отсутствует понятный механизм компенсации понесенных хозяйствующими субъектами убытков от введенных ограничений [21]. Несмотря на то, что представленные работы были опубликованы почти десять лет назад, их актуальность не утратила свою силу, а выявленные пробелы в законодательстве так и не устранены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Dhillon S., Mama-Rudd A. Human Rights and Counter-Terrorism // International Journal of Social Research Foundation. 2016. Vol. 4. № 2. Pp. 1–13.
2. Honeywood C.A. Britain's Approach to Balancing Counter-Terrorism Laws with Human Rights // Journal of Strategic Security. 2016. Vol. 9. № 3. Pp. 28–48.
3. Тарасова Д.М. Значение и применение теоретических подходов к определению понятия и сущности религиозного экстремизма в деятельности прокуратуры Российской Федерации // Российский следователь. 2020. № 1. С. 53–57.
4. Lewis J. Cyber terror: Missing in action / J. Lewis // Knowledge, Technology & Policy. – 2003. – Vol. 16. – Iss. 2. – Pp. 34–41.
5. Heickerö R. Cyber Terrorism: Electronic Jihad / R. Heickerö // Journal Strategic Analysis. – 2014. – Vol. 38. – Iss. 4. – Pp. 554–565.
6. Берсенева В.Л. Мобилизационная модель экономического развития в контексте историографического анализа // Magistra Vitae: электронный журнал по историческим наукам и археологии. 2016. № 1. С. 15–20
7. Harris S. E. Economics of mobilization and inflation. Greenwood Press, 1968. 308 p. Watkins Ralph J. Economic Mobilization // American Political Science Review. 1949. Vol. 43. № 3. Pp. 555–563 / <https://www.cambridge.org/core/journals/american-political-science-review/article/iv-economic-mobilization/E77EAE8400E48597C5EB767508C9C935>
8. Глазьев С. Пора объявлять мобилизацию // Коммерсант. Власть. 1999. № 15. С. 20 / <https://www.kommersant.ru/doc/15386>
9. Балацкий Е.В. Мобилизационная экономика в условиях санкций // Развитие и экономика. 2015. № 7. С. 118–135 / http://www.intelros.ru/pdf/Razvitie_i_ekonomika/2015_13/11.pdf
10. Строчков С.А., Шеншин В.М. Особенности правового режима контртеррористической операции // Право в Вооруженных Силах. 2018. № 1. С. 109–116.
11. Романовский Г.Б. Правовые основы противодействия терроризму в Республике Казахстан // Наука. Общество. Государство. 2018. Т. 6. № 1. С. 40–45.
12. Романовская О.В. Акт о патриотизме: ограничения права на неприкосновенность частной жизни в США в целях противодействия терроризму / О.В. Романовская // Наука. Общество. Государство. – 2017 – Т. 5. – № 2. – С. 10–16.
13. Гольдштейн Б.С., Елагин В.С. Законный перехват сообщений: подходы ETSI, CALEA и COPM // Вестник связи. 2007. № 3 / <http://niits.ru/public/2007/2007-016.pdf>
14. Directive 2006/24/EC of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the retention of data generated or processed in connection with the provision of publicly available electronic communications services or of public communications networks and amending Directive 2002/58/EC / <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0024>
15. Investigatory Powers Act, 2016 / <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2016/25/contents/enacted>
16. Черногор Н.Н., Залоило М.В. Метаморфозы права и вызовы юридической науке в условиях пандемии коронавируса // Журнал российского права. 2020. № 7. С. 5–26.
17. Айол А.А. Изменения в нормативных правовых актах Российской Федерации, связанные с противодействием распространению COVID-19 // Гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций в учреждениях, организациях и на предприятиях. 2020. № 6. С. 13–17.
18. Среднесрочный прогноз Банка России / http://cbr.ru/Collection/Collection/File/27833/forecast_200424.pdf
19. Картина деловой активности за апрель 2020 года / https://www.economy.gov.ru/material/file/153d3784c10e3d2475e177b296d601b7/200528_.pdf
20. Мохов А.А. О концепции правового регулирования экономической деятельности в условиях особых правовых режимов: постановка проблемы // Юрист. 2014. № 4. С. 21–24.
21. Мохов А.А. Ограничения прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при чрезвычайных ситуациях // Юрист. 2013. № 6. С. 3–7.

Статья поступила в редакцию 12.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 331.41/43

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0033

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАШУМЛЕННОСТИ ЛИНИИ ПО РОЗЛИВУ ШАМПАНСКИХ ВИН

© 2020

Балинская Мария Владимировна, аспирант

Донской государственный технический университет

(344000, Россия, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, e-mail: mbalinskaya91@gmail.com)

Аннотация. Оборудование для производства пищевых продуктов является довольно шумным. О том, что шум вредно влияет на здоровье людей и снижает производительность труда известно. Но, тем не менее, исследований оценки уровня шума линии производства пищевых продуктов выполнено немного. В Ростовской области интенсивно развивается виноделие. Комбинаты шампанских вин увеличивают свою производительность. Это, естественно, увеличивает шумность таких производств. Однако, ни исследований по определению уровня шумов таких линий, ни предложений по защите от шума на этих производствах не имеется. В данной статье представлены первые результаты исследований по определению шума и вибрации линии розлива и упаковки шампанских вин. Использовалось современное оборудование для одновременной записи шума и вибрации, а также специальная программа для обработки записанных диаграмм. Интегрирующий шумомер также показал, наряду с общим, и импульсный шум. Результаты показали, что на всех линиях шум превышает допустимые значения. Наряду с широкополосным шумом просматривается и импульсный. Поэтому необходимо расширить изучение этого объекта и разработать мероприятия по защите от шума и вибрации.

Ключевые слова: Шум, вибрации, линии, безопасность, оборудование, виноделие, вино, импульс.

EVALUATION OF THE NOISINESS LINE FOR BOTTLING OF SPARKLING WINES

© 2020

Balinskaya Maria Vladimirovna, postgraduate student

Don State Technical University

(344000, Russia, Rostov-on-Don, sq. Gagarina, 1, e-mail: mbalinskaya91@gmail.com)

Abstract. Food processing equipment is rather noisy. The fact that noise adversely affects people's health and reduces productivity is known. But, nevertheless, a little research has been done on the evaluation of the noise level of the food production line. In the Rostov region winemaking is intensively developing. Champagne wines increase their productivity. This, of course, increases the noise of such industries. However, there are no studies to determine the noise level of such lines, nor proposals for noise protection at these industries. Modern equipment was used for simultaneous recording of noise and vibration, as well as a special program for processing recorded diagrams. The integrating sound level meter also showed, along with the general, and impulse noise. This article presents the first results of studies to determine the noise and vibration of the bottling line and the packaging of sparkling wines. The results showed that on all lines the noise exceeds the allowable values. Along with broadband noise, pulsed is also considered, so it is necessary to expand the study of this object and develop measures to protect against noise.

Keywords: Noise, the lines, safe, equipment, winemaking, wine, impulse.

Введение. Расширение площадей виноградников в Российской Федерации и производство высококачественных виноградных вин является одной из актуальных задач садоводства и винодельческой отрасли пищевой промышленности. Известные российские марки вин успешно конкурируют на мировом рынке с известными винами Франции, Италии и других стран. Виноделие успешно развивается не только в Крыму, Краснодарском крае, но и в других южных регионах России. Например, в Ростовской области за последние годы происходит успешное возрождение промышленного виноделия, увеличение площадей виноградников, осуществляется модернизация винозаводов, их оснащение новым высокопроизводительным оборудованием. Это позволило создать в регионе специализированный винный кластер [1, 2]. Ведущим предприятием кластера является Ростовский комбинат шампанских вин (РКШВ).

Одной из проблем модернизации существующих винозаводов и оснащения их более совершенным обо-

рудованием является, помимо обеспечения высокой производительности линий, является улучшение условий работы сотрудников этих предприятий с позиций охраны труда и техники безопасности, главным образом принятие мер по снижению шумности оборудования и его вибробезопасности. Однако, как отмечается в работе [15], даже на новом оборудовании уже при первичном обследовании можно отметить большое шумовыделение и уровень вибрации.

Технологическая схема работы комбината является многоуровневой со сложной кинематической схемой. Схема основной линии РКШВ приведена на рисунке 1.

Материалы и результаты исследования. Экспериментальные исследования уровня шума и вибрации нами проводились при производительности линии розлива шампанского от 40 до 45 тыс. бутылок в сутки.

При измерениях фиксировались октавные уровни звукового давления и виброускорения.

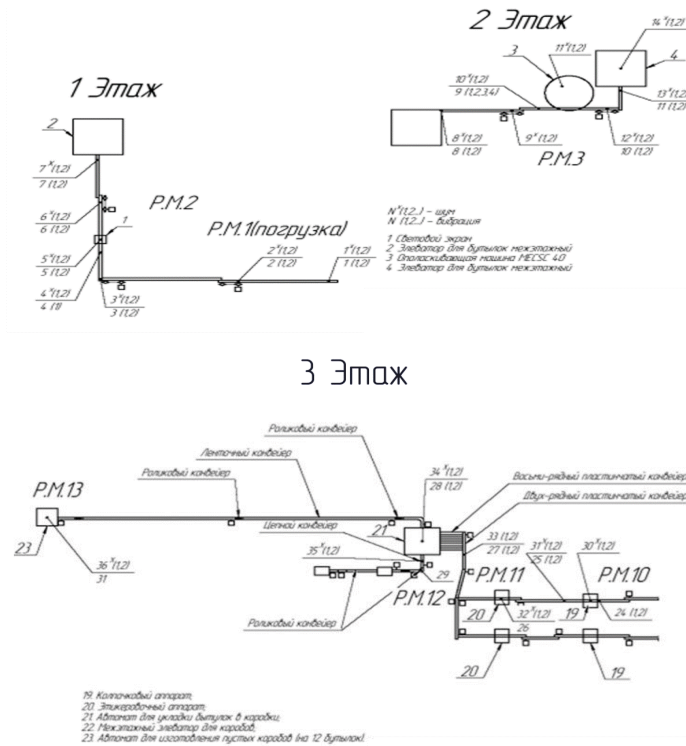


Рисунок 1 - Машино-аппаратурная схема линии розлива и места расположения операторов

Измерения проводились по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ 17187 – 2010 (ЕС 61672-1-2002) и СН 2.2.4 – 2.1.8.566-96, а обработ-

ка результатов по программам ZETLAB. Схема замеров и аппаратура показаны на рисунке 2 [6, 12].



Рисунок 2 – Аппаратура, используемая для измерения звукового давления

Уровень звука и величина звукового давления конвейера линии розлива и упаковки, как видно из рисунка 3, не являются постоянными. В связи с этим, в соответствии с [5,12], должны определяться эквивалентный и максимальный уровни звука. Для измерения шума использовался интегрирующий шумоизмеритель. Время измерения определялось опытным путем и составляло в соответствии с рекомендациями [14] не более 10 с (рис.3).

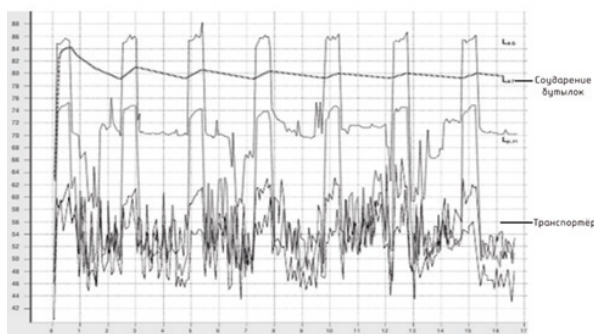


Рисунок 3 – Уровень звука LAS, LAT и звукового давления $L_{p,1100}$, $L_{p,180}$, $L_{p,125}$ (1/3 октавы 100, 80 и 125 Гц) конвейера линии розлива и упаковки

Как известно [7,8] в рабочих зонах машин звуковое поле является неравномерным, при измерениях уровня звука датчик (микрофон) были вынуждены перемещать в пространстве рабочей зоны исследуемой машины.

Рисунок 3 иллюстрирует изменение уровня звука и звукового давления, полученное по результатам измерений.

Можно видеть, что спектр шума является ступенчатым с появлением четко выраженной составляющей на частоте 100 Гц, которая появляется периодически в начале рабочего цикла (кривая L_{pT} , рис.3). При кривой LSA (медленно, дБА) можно видеть, что шум является непостоянным ступенчатым.

Кроме того, в приведенной на рисунке 3 записи шумов отчетливо видны повторяющиеся всплески. Нами было выдвинуто предположение, что эти всплески обуславливаются импульсным шумом. Определение такого шума в нормативных документах выглядит довольно нечетко [3, 4].

Так, в соответствии с ГОСТ 12.01.003 - 83 к импульсным шумам относят сигналы длительностью менее 1 сек. с уровнем звука A , соответственно на

временных характеристиках «импульс» и «медленно» шумомера по ГОСТ 17187 различаются между собой не менее, чем на 7 дБА. Поэтому, при такой величине разности сигналов длительностью от 0,2 до 1,0 сек их нельзя отнести ни к импульсным шумам (в силу установленных ГОСТ 17187 временных характеристик шумомера), ни к прерывистым (в виду их малой длительности) [13].

Импульсный шум может быть идентифицирован как «ударный» шум [16,20]. Однако длительность сигнала в течение одной секунды исключает такое его определение. Для идентификации коротких импульсов, длящихся не более 250мс [17,18,19], можно ис-

пользовать разницу в 7дБ, измеряя уровни звука при разных характеристиках, что и было осуществлено в эксперименте с интервалом записи в одну секунду с использованием современного шумоизмерителя [10,11].

Расчет усредненных характеристик осуществляется с использованием программ *Signal+* и *ReportXL*. Для подтверждения того, что время импульса составляло менее одной секунды использовалась характеристика *F*.

Обобщенные результаты уровня шума и вибрации машин линии розлива шампанских вин показаны на рисунках 4-8.



Рисунок 4 – Шум и вибрации ополаскивателя бутылок в зависимости от расстояния от источника



Рисунок 5 – Шум и вибрации ополаскивателя бутылок в зависимости от расстояния от источника



Рисунок 6 – Шум и вибрации ополаскивателя бутылок в зависимости от расстояния от источника



Рисунок 7 – Шум и вибрации ополаскивателя бутылок в зависимости от расстояния от источника



Рисунок 8 – Шум и вибрации ополаскивателя бутылок в зависимости от расстояния от источника

Заключение. Результаты измерений уровней шума на рабочих местах линии розлива шампанских вин показали, что машины и оборудование линии розлива создают шум, существенно превышающий допустимые ГОСТ 12.1.003-83 значения.

Проведенные эксперименты показали, что превышение допустимых значений отмечается в высокочастотном диапазоне, начиная с 250...500Гц, и достигает максимума в октавных полосах, 2000, 4000 и 8000 Гц.

Сравнение уровней шума на рабочих местах линии при холостом режиме работы машины с уровнями шума при работе с бутылками свидетельствует о том, что источниками повышенного шума на рабочих местах является не только звон бутылок, возникающий при их соударениях, но и сами машины, входящие в состав линии.

Наибольших значений шум достигает на рабочих местах у разливного автомата, бутылкомоечной машины и у автоматов для выемки и укладки бутылок в тару.

Наряду со стационарным шумом у машины для укладки бутылок и у моечной машины наблюдаются импульсивный шум, который имеет следующие наиболее часто встречающиеся диапазоны уровней: 99-104 дБА (67% рабочих мест у автомата для выемки

бутылок), 99-107 дБА (76,6% рабочих мест у автомата для укладки бутылок), 96-104 дБ А (77,4% рабочих мест у бутылкомоечной машины).

Отмечено, что у каждого рассмотренного места возникают вибрации, превышающие допустимые значения.

Для снижения уровня шума отдельных машин и в целом линии розлива необходимо принятие мер по шумоизоляции и шумовиброподавлению. Одним из вариантов, например, может быть использована отделка стен и потолков современными шумопоглощающими материалами, звукоизоляция рабочих зон машин и установка в местах установки машин на фундамент виброизоляционных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Винный кластер Ростовской области «Долина Дона».
2. Журнал «Донской временник». Краеведение Ростовской области. История виноделия на Дону. www.9fond.spb.ru.
3. Федеральный закон РФ от 30.12.2001 г. №197-ФЗ «Трудовой кодекс Российской Федерации» [Электронный ресурс]: (с изм. и доп.) // КонсультантПлюс: [сайт КонсультантПлюс]. - [М., 2017]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/.
4. Федеральный закон «О специальные оценки условий труда» от 28 декабря 2013 г. №426-ФЗ [Электронный ресурс]: (с изм. и доп.) // КонсультантПлюс: [сайт КонсультантПлюс]. - [М., 2017]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>

document/cons_doc_LAW_156555/.

5. Кацнельсон, М.У. снижение шума машин пищевых производств / У. Кацнельсон, Б. А. Селивёрстов, И. Е. Цукерников. – М.: Агропромиздат, 1986 – 256 с.

6. Шольц-Куликов Е.П. Будущее Виноделия на голубой Ветке Дона / Шольц-Куликов Е.П.// Долина Дона. – 2017. – №1 [1]. – с.18.

7. ГОСТ 17187-2010. «Шумомеры. Часть 1. Технические требования» (действует с 01.11.2012). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17187-2010>.

8. ГОСТ 12.01.003 – 2014. «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание)» (действует с 01.11.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>.

9. ГОСТ 12.1.003 – 83 ССБТ. Шум. Общие требования

10. Sound Research Laboratories Ltd. Noise Control in Industry, Third Edition. CRC Press. – 2005, 420 p.

11. Colin Hansen. Noise Control: From Concept to Application, First Edition. CRC Press. – 2005, 440 p.

12. Saeed V. Vaseghi. Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction, Second Edition. John Wiley & Sons Ltd. – 2006, 377 p.

13. Istvan L. Ver, Leo L. Beranek. Noisw and Vibration Control Engineering: Principles and Applications, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. – 2006, 966 p.

14. Michael Norton. Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers, Second Edition. Cambridge University Press. – 2003, 652 p.

15. Colin Hansen, Scott Snyder, Xiaojun Qiu, Laura Brooks, Danielle Moreau. Active Control of Noise and Vibration, Second Edition. CRC Press | Llc. – 2013, 800 p.

16. Tim South. Managing Noise and Vibration at Work: A practical guide to assessment, measurement and Control, First Edition. Butterworth-Heinemann. – 2004, 288 p.

17. Clarence W. de Silva. Vibration Damping, Control and Design. CRC Press. – 2019, 634 p.

18. S.K. Dargar , J.K. Srivastava. Pruning Technique of ANN for Proficient Active Noise Cancellation: An Experimental study. LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2016, 124 p.

19. A. Thumann. Fundamentals of noise control engineering. Prentice-Hall. – 2016, 287 p.

20. David A. Bies, Colin Hansen, Carl Howard. Engineering Noise Control. Australia: University of Adelaide. – 2017, 896 p.

Статья поступила в редакцию 08.06.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 331.451

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0034

**ОХРАНА ТРУДА ЧЛЕНОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД С УЧЕТОМ ВОЗРАСТАНИЯ
НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДА**

© 2020

Стручалин Владимир Гайозович, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Управление безопасностью в техносфере»**Нарусова Елена Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
«Управление безопасностью в техносфере»**Навценя Владимир Юрьевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры «Управление безопасностью в техносфере»*Российский университет транспорта (МИИТ)
(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9,**e-mails: Struchalin_v@bk.ru, kafedra2009@inbox.ru, v.navcenia@ubt-rut-miit.ru)*

Аннотация. Статья посвящена изучению особенностей организации охраны труда членов локомотивных бригад с учетом возрастания напряженности труда. Напряжённость труда в операторских профессиях на железнодорожном транспорте характеризуется напряжением психосоматических функций (внимания, памяти, аналитико-синтетической и эвристической деятельности) и является одним из ведущих факторов, определяющим условия труда. Труд локомотивных бригад требует большого нервно-эмоционального напряжения. Наблюдение за путём, сигналами, контрольно-измерительными приборами и за всей работой локомотива вызывает сильное напряжение внимания, зрения, слуха. Как фактор стрессовой нагрузки напряжённость труда приводит к накоплению усталости и, как следствие, способствует развитию профессиональных заболеваний. На сегодняшний день данная проблема приобретает особое значение в связи с тенденцией уплотнения графика движения поездов и увеличением скорости движения. В процессе исследования установлено, что система охраны труда работников локомотивных бригад должна включать в себя комплекс мер и инструментов профессионального психофизиологического отбора, отдельное внимание следует уделять внедрению комплексной системы реабилитации здоровья персонала. Также акцент сделан на необходимости обеспечения комфортной и безопасной световой среды, оптимизации режима работы и отдыха с учетом перевода локомотивных бригад на «удлиненные плечи».

Ключевые слова: охрана труда, условия труда, интенсивность труда, напряженность труда, локомотивная бригада, машинист, профессиональные заболевания.

**LABOR PROTECTION OF MEMBERS OF LOCOMOTIVE CREWS, TAKING INTO ACCOUNT
THE INCREASING LABOR INTENSITY**

© 2020

Struchalin Vladimir Gajozovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of security management in the technosphere**Narusova Elena Yurievna**, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the
Department of security management in the Technosphere**Navcenya Vladimir Yur'evich**, doctor of technical sciences, senior researcher, professor of the Department of
security management in the Technosphere*Russian University of Transport (MIIT)
(9, building 9, st. Obrazcova, Moscow, Russia, 127994.**e-mails: Struchalin_v@bk.ru, kafedra2009@inbox.ru, v.navcenia@ubt-rut-miit.ru)*

Abstract. The article is devoted to the study of the specifics of the organization of occupational health and safety of members of locomotive brigades, taking into account the increasing tension of work. The tension of labor in the operator professions on railway transport is characterized by the tension of psychosomatic functions (attention, memory, analytical-synthetic and heuristic activity) and is one of the leading factors determining working conditions. The work of locomotive crews requires a lot of nervous-emotional tension. Observing the track, signal, instrumentation and all the work of the locomotive causes a strong tension of attention, sight, hearing. As a factor of stress, the tension of labor leads to the accumulation of fatigue and, as a result, contributes to the development of occupational diseases. Today, this problem is of particular importance in connection with the tendency to tighten the train schedule and increase the speed. During the study it was established that the system of occupational health and safety of locomotive crews should include a set of measures and tools of professional psychophysiological selection, and special attention should be paid to the introduction of a comprehensive system of rehabilitation of staff health. The emphasis is also on the need to provide a comfortable and safe light environment, optimization of the mode of work and rest, taking into account the transfer of locomotive crews to «extended shoulders.»

Keywords: labor protection, working conditions, labor intensity, labor tension, locomotive crew, engine driver, occupational diseases.

Введение. В современном мире безопасность труда является одной из главных в ряду наиболее значимых социально-экономических проблем. Производственный травматизм представляет собой серьезную опасность для здоровья и жизни граждан, особенно работников опасных отраслей, к которым, безусловно, относится и железнодорожный транспорт [1, 2, 3]. В данном контексте следует отметить, что вопросам охраны труда на железнодорожном транспорте всегда уделялось большое внимание.

Железнодорожный транспорт является отраслью, которой свойственны повышенные риски [4]. Отличительные особенности работы железнодорожников связаны с расположением рабочих зон и рабочих мест в тесном контакте и непосредственной близости к подвижному составу. Кроме того, усложнение условий труда связано с тем, что транспортный процесс осуществляется в любую погоду, вне зависимости от времени суток и поры года. Соответственно специфичность отрасли требует четко отлаженной работы по обеспечению надлежащего уровня безопасности труда.

С учетом вышеизложенного не подлежит сомнению, что для обеспечения современного уровня охраны труда работающих в условиях автоматизации железнодорожного транспорта особое значение приобретает учёт человеческого фактора. Снижение напряженности труда возможно, если, в первую очередь, для наиболее напряженных технологических процессов будут определены оптимальные соотношения физических и нервных нагрузок, и на основе этого часть рабочих функций человека будет передана машине.

Целью данного исследования является улучшение условий труда членов локомотивных бригад по неблагоприятному фактору «напряженность труда» с учётом интенсификации перевозочного процесса. Ключевые вопросы организации трудового процесса, связанные с интенсивностью труда работников железнодорожного транспорта, а также с допустимой продолжительностью воздействия вредных факторов, от которых непосредственно зависят меры по охране труда, приобретают особую актуальность, теоретическую и практическую значимость.

Весь спектр данной проблематики можно представить следующими направлениями: исследование влияния напряженности труда на вероятность ошибочных действий и травматизм на производстве, анализ ключевых аспектов определения класса условий труда, выбор показателей, характеризующих производственную среду, обоснование оптимальных условий труда, проектирование систем жизнеобеспечения работников железных дорог, управление безопасностью, а также непосредственно проблемы охраны труда. Развитию научных основ по этим направлениям посвящены работы М.А. Шевандина, В.М. Пономарева, В.А. Аксёнова, А.М. Завьялова, В.И. Жукова, А.В. Волкова, А.А. Хохлова и других учёных.

Следует отметить, что охране труда железнодорожников и безопасности движения уделяется большое

внимание, однако для решения задачи достижения уровня нулевого травматизма и профессиональной заболеваемости с учётом современного развития отрасли требуются дальнейшие исследования и разработка соответствующих мер в области переоценки влияния некоторых показателей напряжённости труда на здоровье работников.

Материалы и результаты исследования. В исследовании проводится структурный анализ характеристики профессиональной трудовой деятельности членов локомотивных бригад с учётом новых особенностей интенсификации перевозочного процесса и связанной с ним модернизацией железнодорожного транспорта, напрямую влияющей на условия и содержание работы, напряженность выполняемых операций, сенсорную нагрузку. Эффективность и безопасность работы машиниста и членов локомотивной бригады зависит от научно обоснованного режима труда и отдыха. До завершения поездки каждый член локомотивной бригады должен быть устойчиво работоспособен [5].

Прежде всего, представляется целесообразным отметить, что напряженность труда работы членов локомотивных бригад обусловлена:

- особыми формами организации выполняемых задач (продолжительность смены более 8 или 9 часов, вахтовый метод и т.д.), которые связаны с сезонностью работы. Так, например, в России на одного работника приходится 9,9 ч сверхурочной работы в месяц [6]. Однако, в зимний период зачастую наблюдается недоработка нормы рабочих часов в то время, как в летний период, наоборот, более частые случаи сверхурочной работы, и в первую очередь из-за увеличения объемов грузоперевозок;

- выполнением работ, которые связаны преимущественно с перемещениями и влиянием факторов, изменяющихся по интенсивности, времени действия или природе происхождения;

- осуществлением операций, которые ухудшают функциональное состояние работника и требуют обеспечения его специальными средствами индивидуальной защиты;

- действием сложных комбинаций факторов трудового процесса и производственной среды;

- одновременным выполнением нескольких задач (управление локомотивом, контроль за техническими системами,) в условиях постоянно повторяющихся монотонных факторов и информационных помех;

- необходимостью обработки большого объема поступающей информации;

- ограниченным периодом времени, отведенного на принятие решений и выбора соответствующих действий.

Режим труда и отдыха машиниста современных локомотивов, обращающихся на длинных участках с движением в одну сторону более 4 часов, складывается из следующих этапов: получение маршрутного листа у дежурного по депо; подготовка локомотива, подача его к поезду; проверка тормозов; ведение

поезда до станции смены бригады; отдых в комнате отдыха; приём локомотива и ведение его обратно до своей станции; подача локомотива в депо, экипировка, осмотр и обтирка механизмов; отдых дома.

При коротких участках обращения машинисты, как правило не отдыхают в комнатах отдыха в пунктах оборота, следуют почти сразу в обратном направлении.

Локомотивные бригады, работающие с пассажирскими поездами, знают график своей работы на длительный срок, а бригады, работающие с грузовыми поездами, из-за сложности по различным причинам выполнения графика движения не всегда знают график своей работы, что отрицательно сказывается на психофизиологическом состоянии машиниста и его помощника.

Из общего баланса рабочего времени машинисты электровозов и тепловозов в среднем 45% времени затрачивают на работу в пути, 39% на работу по проверке и уходу за локомотивом, 16% на приём и сдачу локомотива, а также подачу его под состав. Однако цифры могут изменяться в зависимости от конкретных условий работы.

На ряде участков у машинистов до 25-26% всего времени отдыха приходится на отдых вне дома.

Таким образом, принимая во внимание эти факторы, можно сделать вывод, что обеспечение охраны труда членов локомотивных бригад с учетом возрастания напряженности работы должно включать в себя эффективное развитие системы психофизиологического обеспечения работников, основанной на уточнении принципов и критериев оценки их профессиональной деятельности.

Одним из важных факторов трудового процесса в последние годы становится всё большее вовлечение локомотивных бригад в работу в режиме высоких скоростей. Это обстоятельство выводит вопросы способности поддерживать необходимый уровень бдительности, работоспособности и готовности к экстренным действиям на принципиально новый актуальный уровень, так как высокий эмоциональный стресс, повышенный уровень внимания и монотонность приводят к быстрой утомляемости и необходимости специальных мер по восстановлению работоспособности [7-9]. Отдельного подхода в данном контексте заслуживает проблема связи надёжности профессиональной деятельности локомотивных бригад с их личностной зрелостью [10-14].

В рамках данной системы необходимо совершенствование психофизиологических методов работы с локомотивными бригадами. Комплексный подход к этому вопросу должен быть основан на уточнении методологии, содержания, принципов, критериев оценки их профессиональной деятельности.

Система профессиональной психофизиологической работы с локомотивными бригадами должна включать в себя отбор и контроль в реальном времени, что будет способствовать определению и устранению причин ошибочных действий и нарушений.

Наряду с совершенствованием системы психологической диагностики деловых и личностных качеств при профессиональном отборе, необходимо также осуществлять динамический психофизиологический контроль функционального состояния и динамическую диагностику работоспособности, например, во время предрейсовых медосмотров.

Необходимо особое внимание уделять выявлению неблагоприятных изменений состояния здоровья и снижения функциональных резервов на ранних этапах

Особенно важно не только определить неблагоприятные изменения, но и создать эффективную программу профилактических и коррекционных действий по снижению психоэмоционального напряжения, переутомления и других нарушений функционального состояния работников [15].

Безусловно, необходимо участие психологов в анализе причин ситуаций, вызванных ошибочными действиями членов локомотивных бригад.

Кроме того, отдельного внимания заслуживает проблема комплектования локомотивных бригад с учетом их психологической совместимости.

Активизация перевозок на железнодорожном транспорте способствует внедрению новых, передовых технологий управления поездами и контроля бодрствования машинистов [16]. Однако в связи с дефицитом адаптированных и несовершенством существующих подходов к организации труда работников локомотивных бригад такие нововведения актуализируют вопросы монотонности труда, который может привести к снижению когнитивных функций, особенно машинистов и их помощников, [17]. Поскольку члены локомотивной бригады вынуждены длительное время находиться в одном состоянии, весь трудовой процесс можно было бы разделить на отдельные операции, и работу каждого было бы целесообразно планировать так, чтобы при её выполнении приходилось использовать разные группы мышц, и нагрузки на различные органы чувств и части тела чередовались. Таким образом можно было бы снизить монотонность труда.

Специфические условия труда локомотивных бригад, который связан с работой в ночное время суток, сменным графиком работы, неблагоприятными погодными условиями, ухудшающими видимость как в дневное, так и в ночное время суток, нарушением обзора на станционных путях и малыми радиусами кривизны пути, приводят к возрастанию нагрузки на зрительные анализаторы, центральную нервную систему, повышают риски развития нарушения биологических ритмов бодрствования и сна [18-20]. Дополнительным фактором, повышающим напряженность труда, является проезд по участкам полотна во время производства путевых работ. Особенно затрудняет работу изменчивая световая среда, связанная со слепящим светом локомотивных прожекторов встречного направления следования. Достоверно установлено, что общее количество ошибок, совершаемых машинистами на 1 ч

работы, больше в ночное время [21].

Следует отметить, что улучшение качества световой среды имеет существенное значение в условиях возрастания напряженности работ, выполняемых членами локомотивных бригад.

Световая среда воздействует не только на функции зрения работника, но и на деятельность организма в целом. Известно, что при недостатке освещения рабочей зоны происходит быстрое утомление, снижение производительности труда, возрастает вероятность ошибок, которые могут стать причиной несчастных случаев. В связи с этим для условий железнодорожного транспорта внедрение светодиодных светильников на станционных путях обладает значительным потенциалом для существенного повышения равномерности и стабильности освещения железнодорожных путей, обеспечения соблюдения спектрального состава и цветовой гаммы света, улучшения условий труда машинистов и снижения рисков несчастных случаев.

Представляется целесообразным учесть, что переход локомотивных бригад на работу на «удлиненных плечах», максимально допустимая длина которых определяется предварительными расчетами, учитывающими влияние напряженности и интенсивности труда на работающих, должен сопровождаться дальнейшими исследованиями состояния здоровья персонала. Кроме того, очевидно, что изменение условий труда, в свою очередь, предполагает модернизацию кабин локомотивов, внесения изменений в их конструкцию, создание комфортных условий для работы локомотивных бригад.

Проблема напряженности труда, а значит, надежности работы членов локомотивных бригад сложна и в последние годы (в последнее время) претерпела в ряде своих аспектов значительные изменения. Являясь частью широкой проблемы «человек-машина», она характеризуется целым рядом существенных особенностей, которые связаны с возрастанием скорости движения поездов, уплотнением графика движения поездов и возрастанием интенсификации труда в целом. Наиболее существенный вклад в процесс возрастания напряженности труда вносят два состояния: состояние перегрузки машиниста и состояние недостатка информации. Прежде всего, проблема напряженности труда должна рассматриваться с точки зрения безопасности движения, ключевым аспектом которой является соответствие возможностей машиниста-оператора задачам по её обеспечению и распределение работы машиниста-оператора во времени. В связи с этим необходимо уделять большее внимание вопросам профессионального отбора и обучения, групповой инженерной психологии в изолированных коллективах, психологическим аспектам эксплуатации сложных систем, а также психоэмоциональной корректировки членов локомотивных бригад в процессе трудовой деятельности.

Заключение. На железнодорожном транспорте машинисты локомотивов и помощники машинистов относятся к многочисленной и наиболее квалифици-

рованной категории работников. Охрана труда представителей одной из ведущих специальностей должна представлять собой систему, включающую в себя профессиональный психофизиологический отбор сотрудников. Отдельное внимание должно быть уделено организации эффективной системы реабилитации, восстановления здоровья, которая приобретает особую важность в процессе внедрения и активного применения новых передовых технологий в локомотивном хозяйстве. Кроме того, большое значение имеет организация рационального режима труда и отдыха машинистов, а также создание соответствующих условий для отдыха в депо.

Комплексная программа планирования рабочего времени и отдыха в условиях напряженной и интенсивной работы железнодорожников позволит оптимизировать пробегные нормы, снизить потери рабочего времени, повысить рациональность его использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2019 год [Текст] – М.: ОАО «РЖД» - 107 с.
2. Тесленко, И.М. Наезд подвижного состава – основной вид смертельного производственного травматизма работников ОАО «РЖД» [Текст] / И.М. Тесленко, Е.А. Куленко // Техника, технологии и прикладные исследования. Сб. науч. тр. по мат. II Межд. техн. фор. мол. уч-х (С-Пб., 02 нояб. 2017). С-Пб, 2017. – С.239-248.
3. Антонова, М.В. Анализ несчастных случаев нарушений охраны труда в сложно структурированной транспортной системе [Текст] / М.В. Антонова, А.С. Веселова, С.С. Громышова // Концепция «Общества знаний» в современной науке. Сб. ст. по итог. Межд. н.-практ. конф. (Стерлитамак, 18 ноябрь 2019). Уфа, 2019. – С. 106-109.
4. Аксенов, В.А. Методический подход к анализу и прогнозированию рисков травмирования на рабочем месте в хозяйстве пути [Текст] / В.А. Аксенов А.М. Завьялов, Ю.В. Деметьева // Качество и жизнь. – 2018 – №2 (18). – С. 93-96.
5. Сериков, В.В. Коррекционно-восстановительные средства повышения профессиональной надежности и профилактики перенапряжения работников [Текст] / В.В. Сериков, О.И. Юшкова, А.В. Капустина, С.А. Калинина, Х.Т. Ониани // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – №4. – Т.59. – С.252-256.
6. Ермакова Л.В. Влияние различных факторов на работу локомотивных бригад // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 1. С. 59-64.
7. Капцов, В.А. Физиологические и гигиенические основы обеспечения безопасности движения на скоростном транспорте [Текст] / В.А. Капцов, А.Б. Кирпичников, А.С. Живаев // Гигиена и санитария. – 2007. – №1 – С. 36-39.
8. Живаев, А.С. Физиологические аспекты обеспечения безопасности движения в высокоскоростном движении [Текст] / А.С. Живаев // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – №1(11). – С. 76-81.
9. Сериков, В.В. Коррекционно-восстановительные средства повышения профессиональной надежности и профилактики перенапряжения работников [Текст] / В.В. Сериков, О.И. Юшкова, А.В. Капустина, С.А. Калинина, Х.Т. Ониани // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – №4. – Т.59. – С.252-256.
10. Сериков, В.В. Социально-психологические и организационные факторы, влияющие на профессиональную

деятельность работников локомотивных бригад [Текст] / В.В. Сериков, Е.А. Жидкова, В.Я. Колягин А.А. Закревская, В.Е. Богданова // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – №7 – С.17-20.

11. Богданова, В.Е. К вопросу о взаимосвязи личностной зрелости работников и нормативности их профессиональной деятельности [Текст] / В.Е. Богданова, В.В. Сериков // Мир психологии. – 2019. – №1(97). – С.220-229.

12. Богданова, В.Е. Исследование взаимосвязи свойств личностной зрелости с ошибками деятельности работников локомотивных бригад [Текст] // Психология труда и управления как ресурс развития общества в условиях глобальных изменений. / Материалы Межд. н.-прак. конф., посв. 25-л. фак. псих. Тверск. гос. унив. – (Тверь, 26-29 сент. 2018). – Тверь: ТвГУ, 2018. – С.18-24.

13. Сериков, В. В. Типы личностной надёжности операторов подвижных человеко-машинных систем (на примере работников локомотивных бригад): дис. канд. псих. н. Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова, Москва, 2019.

14. Сериков, В.В. Личностная надёжность операторов (на примере работников локомотивных бригад) [Текст] // Мир психологии – 2018. – №4(96). – С.123-131.

15. Богданова, В.Е. Возможности психоэмоциональной коррекции психофизиологического состояния работников локомотивных бригад железнодорожного транспорта [Текст] / В.Е. Богданова, А.А. Закревская, В.В. Сериков // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 4. – С. 15-19.

16. Сериков, В.В. Результаты проверки телемеханической системы контроля бодрствования машиниста [Текст] / В.В. Сериков, А.А. Закревская, Д.В. Захарченко, Д.В. Алпаев, Е.О. Атькова // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – № 1. – С. 22-26.

17. Легкие когнитивные нарушения у работников локомотивных бригад железнодорожного транспорта (обзор литературы). Ожогина О.А., Закревская А.А., Сериков В.В.

18. Кульбачинский, В.В. Вопросы сна у работников локомотивных бригад при работе с ночными сменами [Текст] / В.В. Кульбачинский, В.Д. Горохов, Д.В. Алпаев, В.В. Сериков // Железнодорожная медицина и профессиональная биоритмология. – 2011. – № 17-18. – С. 16-23.

19. Цфасман, А.З. К вопросу режима сна у работников локомотивных бригад ОАО РЖД [Текст] / А.З. Цфасман, О.В. Гутникова, Е.О. Атькова, Д.В. Алпаев, М.С. Буниatian, В.В. Сериков // Железнодорожная медицина и профессиональная биоритмология. – 2014. – № 24. – С. 30-55.

20. Алпаев, Д.В. Профессиональные расстройства суточного биоритма локомотивных бригад [Текст] / Д.В. Алпаев, В.В. Сериков, Д.В. Ситович, О.Э. Чернов // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – № 1. – С. 25-30.

21. Сериков, В.В. Анализ транспортных происшествий, связанных с нарушением безопасности движения поездов, в разное время суток [Текст] / В.В. Сериков, Д.В. Алпаев, А.А. Закревская, А.С. Кремес // Железнодорожная медицина и профессиональная биоритмология. – 2013. – № 2013. – С. 32-39.

Статья поступила в редакцию 31.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 331.452

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0035

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ СЛУХА НА ВОСПРИЯТИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЮ СИГНАЛОВ ЗАДНЕГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

© 2020

Дмитриев Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам

Хасанова Марина Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам

Руднев Валерий Валентинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам

Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет

(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69,

e-mails: oad2005@mail.ru, marina24-03@mail.ru, rudnevzv@cspu.ru)

Аннотация. Данная статья посвящена решению проблемы сокращения количества несчастных случаев, связанных с наездом на людей грузовых автомобилей при движении задним ходом. Снижение количества подобных несчастных случаев может быть достигнуто разработкой более рациональных и безопасных схем движения транспортных средств, сокращением или даже исключением их маневрирования задним ходом. Однако использование звуковой сигнализации заднего хода является обязательным на большинстве грузовых автомобилей и остается средством, широко используемым для предупреждения работающих в непосредственной близости от них. В реальных производственных условиях, связанных с повышенным уровнем шума, рабочие применяют средства индивидуальной защиты (СИЗ) органов слуха и другие защитные средства, например, каски. Такие средства индивидуальной защиты являются обязательными на многих рабочих местах, но их использование может вызвать проблемы с восприятием звуковых сигналов и, следовательно, снизить уровень безопасности работников. При этом вопросы влияния применения СИЗ на восприятие или локализацию тональных и широкополосных сигналов заднего хода грузовых автомобилей в настоящий момент недостаточно изучены. В связи с вышесказанным были проведены эксперименты по определению порогов обнаружения и реагирования, а также способности к локализации для двух типов сигналов заднего хода грузовых автомобилей при наличии фонового шума. Исследования осуществлялись при наличии и при отсутствии средств индивидуальной защиты органов слуха (противошумных наушников).

Ключевые слова: сигнал заднего хода, средства индивидуальной защиты органов слуха, уровень шума, порог обнаружения, порог реагирования, локализация.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF EQUIPMENT FOR PERSONAL HEARING PROTECTION ON THE TRUCKS REVERSE SIGNALS PERCEPTION AND LOCALIZATION

© 2020

Dmitriev Mikhail Sergeevich, doctor of engineering sciences, professor of the department

Khasanova Marina Leonidovna, candidate of engineering sciences,
associate professor, associate professor of the department

Rudnev Valery Valentinovich, candidate of engineering sciences, associate professor, head of the department
department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

South Ural State Humanitarian Pedagogical University

(Russia, 454080, Chelyabinsk, 69 Lenin Ave.,

e-mails: oad2005@mail.ru, marina24-03@mail.ru, rudnevzv@cspu.ru)

Abstract. This paper is dedicated to solving the problem of reducing the number of accidents associated with collisions with trucks when reversing. Reducing the number of such accidents can be achieved by developing more rational and safer traffic patterns for vehicles, reducing or even eliminating their maneuvering in reverse. However, the use of audible reversing alarms is mandatory on most commercial vehicles and remains widely used to warn people working in their immediate vicinity. In real working conditions with increased noise levels, workers use equipment for personal hearing protection and other personal protective equipment (PPE), such as helmets. Such personal protective equipment is mandatory in many workplaces, but their use can cause problems with the perception of audible signals and therefore reduce the workers safety level. At the same time, the issues of the influence of the use of PPE on the perception or localization of trucks' tonal and broadband reverse signals are currently insufficiently studied. In connection with the above, experiments were carried out to determine the detection and reaction thresholds and the localization ability for the two types of truck reverse signals in the presence of background noise. The studies were carried out in the presence and in the absence of equipment for personal hearing protection (ear muffs).

Keywords: reverse signal, personal protective equipment, noise level, detection threshold, reaction threshold, localization.

Введение. Несмотря на то, что большинство крупногабаритных транспортных средств оснащено сигнализацией заднего хода, ежегодно в нашей стране регистрируются несчастные случаи (в том числе и со смертельным исходом), связанные с наездом грузовых автомобилей на работников. Это происходит во многих сферах деятельности (строительство, транспорт, горнодобывающая промышленность, коммунальное хозяйство, агропромышленный комплекс и др.) [1-4].

Снижение количества подобных несчастных случаев может быть достигнуто разработкой более рациональных и безопасных схем движения транспортных средств, сокращением или даже исключением их маневрирования задним ходом. Однако использование звуковой сигнализации заднего хода является обязательным на большинстве грузовых автомобилей и остается средством, широко используемым для предупреждения работающих в непосредственной близости от них.

При этом работникам часто приходится выполнять несколько задач одновременно, сохраняя бдительность в отношении потенциальных источников опасности (например, движущихся транспортных средств). В таких условиях они не могут направить все свое внимание на восприятие, идентификацию, распознавание и локализацию сигналов заднего хода.

Проведенные ранее исследования [5] доказали, что сосредоточение работников на выполнении производственных задач оказывает негативное влияние на восприятие звуковой сигнализации.

Кроме того, в реальных производственных условиях, связанных с повышенным уровнем шума, рабочие применяют средства индивидуальной защиты органов слуха и другие защитные средства, например, каски. Такие средства индивидуальной защиты являются обязательными на многих рабочих местах, но их использование может вызвать проблемы с восприятием звуковых сигналов и, следовательно, снизить уровень безопасности работников.

Материалы исследования. В зарубежных работах [6-17] представлены исследования, показавшие эффективность в плане обеспечения безопасности работников, выполняющих задачи вблизи движущихся грузовых автомобилей, как тональных, так и широкополосных сигналов заднего хода. При этом учитывались все источники шума, присутствующие в производственной среде (а не только шум от работающего автомобильного двигателя). Однако полученные результаты справедливы только применительно к людям, обладающим нормальным слухом, не использующим средства индивидуальной защиты органов слуха, которые могут повлиять на восприятие звукового сигнала. Что же касается защитной каски, которую очень часто носят работающие в зонах передвижения грузовых транспортных средств (например, строительные площадки), то ее влияние на восприятие или локализацию источников звука в настоящее время практически не изучено.

В связи с вышесказанным, **целью** данного ис-

следования является снижение риска возникновения несчастных случаев, связанных с наездом на людей грузовых автомобилей при движении задним ходом, путем выявления степени влияния применения различных средств индивидуальной защиты на восприятие и локализацию сигналов заднего хода двух основных типов (тональных и широкополосных).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи.

1. Определить в лабораторных условиях оптимальное соотношение сигнал/шум, позволяющее достичь адекватной слышимости двух основных типов сигналов заднего хода при ношении средств защиты органов слуха.

2. Оценить в лабораторных условиях возможность локализации предупреждающего сигнала (тонального или широкополосного) в ходе выполнения какой-либо заранее установленной производственной задачи при использовании средств индивидуальной защиты.

Результаты исследования. Для обеспечения безопасности работающих в зоне движения грузовых автомобилей сигнализация заднего хода должна быть отрегулирована таким образом, чтобы отношение сигнал/шум позволяло не только услышать сигнал, но и вызвать реакцию, заставить рабочего повернуться к машине или покинуть опасную зону, чтобы избежать наезда.

В ходе экспериментальных исследований применялись защитные наушники противозумные *Peltor Optime 95* с шумоподавлением 21 дБ.

В исследованиях приняли участие в общей сложности 48 человек (44 женщины и 4 мужчин) в возрасте от 22 до 43 лет.

Все участники соответствовали следующим критериям отбора:

- 1) нормальная слуховая чувствительность обоих ушей,
- 2) наличие нормальных тимпанограмм.

Чтобы убедиться, что участники соответствуют указанным критериям, проводилось исследование наружного слухового прохода и барабанной перепонки с помощью отоскопа *Welch Allyn*. Кроме того, осуществлялась оценка функции среднего уха с использованием тимпанометра *GSI 38* [18]. Наконец, проверка слуха проводилась с помощью портативного аудиометра *Interacoustics AD25* с наушниками *Telephonics TDH-39P* [19, 20]. В ходе этого исследования через наушники транслировались звуки разных частот (от 250 до 8000 Гц), при этом участники должны были нажать на кнопку, как только они услышали звук.

Затем, проводились измерения порогов обнаружения и реагирования для двух типов сигналов заднего хода грузовых автомобилей при наличии фонового шума, уровень которого составлял 80 дБА. Замеры осуществлялись при наличии и при отсутствии средств индивидуальной защиты органов слуха (противозумных наушников). В исследовании применялись шесть типов промышленного шума (известняковый карьер, лесопилка, дрель, долото, промышленный

нож и строительная площадка).

Таким образом, для каждого участника исследования всего было измерено 48 пороговых значений обнаружения и столько же – реагирования (6 типов шума 2 типа сигнала заднего хода 2 состояния защиты органов слуха (без использования СИЗ и с его использованием) 2 повторения измерения).

Участники должны были увеличивать или уменьшать уровень сигнала с шагом 2 дБ, пока тот не становился едва слышным (порог обнаружения) или достаточно сильным, чтобы немедленно привлечь внимание или заставить покинуть опасную зону (порог реагирования).

В ходе выполнения этих задач участникам экс-

перимента было предложено представить себя на рабочем месте с повышенным уровнем шума. Для определения порога обнаружения участники должны были устанавливать сигнал на самый низкий уровень, который был едва различимым (слышимым). С целью измерения порога реагирования участникам было необходимо отрегулировать сигнал так, чтобы он вызвал чувство опасности, достаточное, чтобы среагировать и повернуться к транспортному средству или переместиться из опасной зоны.

На рисунке 1 показаны средние для всех участников экспериментального исследования пороги обнаружения и реагирования, выраженные в отношении сигнал/шум (в дБ).

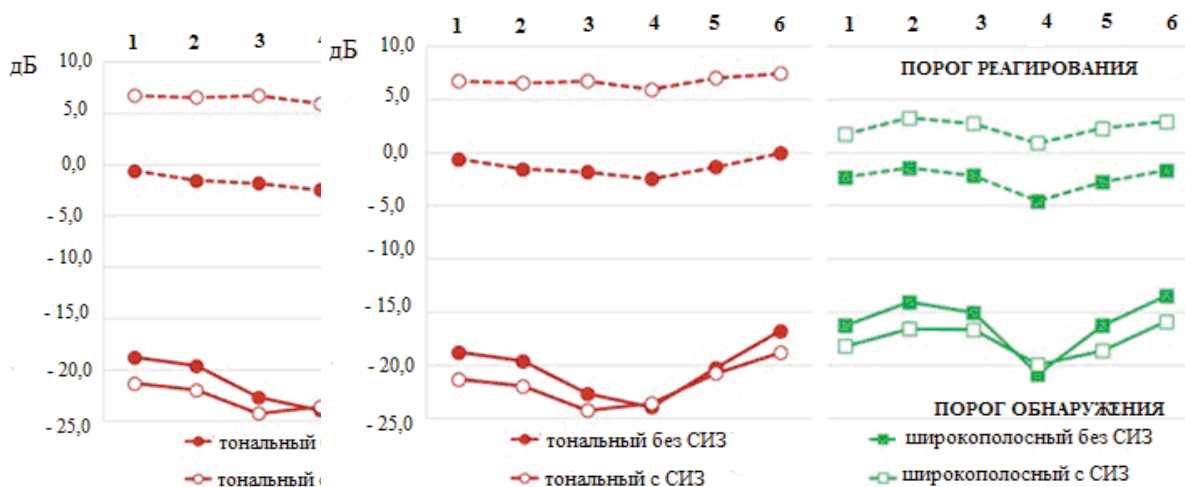


Рисунок 1 – Средние пороговые значения обнаружения и реагирования для тонального и широкополосного сигналов заднего хода в присутствии различных типов производственного шума:

1 - известняковый карьер; 2 - лесопилка; 3 - дрель; 4 - долото; 5 - промышленный нож; 6 - строительная площадка

С целью определения влияния различных факторов и их взаимодействия был проведен статистический анализ результатов.

Без средств защиты органов слуха сигналы заднего хода отчетливо слышны при громкости ниже уровня фонового шума. Пороговые значения обнаружения также зависят от типа сигнала (тональный или широкополосный), а также от временных и спектральных характеристик фонового шума. Пороги реагирования приближаются к уровню шума и гораздо менее зависят от типа сигнала заднего хода автомобиля и типа шума.

Как показывают результаты экспериментальных исследований, пороговые значения обнаружения сигнала при использовании средств индивидуальной защиты оказались практически такими же, как при отсутствии указанных средств (разница составляет менее 2 дБ). Пороговые значения реагирования без средств защиты, напротив, значительно ниже, чем при использовании СИЗ (наушников).

Следует также отметить, что в обоих случаях (с применением СИЗ и без их применения) порог реагирования в большей степени изменялся в зависимости от личности участника эксперимента, чем порог об-

наружения. Это, очевидно, объясняется тем, что все участники обладали нормальным слухом (примерно одинаковым). При этом на пороговые значения реагирования в большей степени сказались такие индивидуальные особенности, как скорость реакции и т.п.

Серия экспериментов также была проведена с целью определения влияния рассматриваемых факторов на локализацию сигнала заднего хода. Результаты показали, что локализация звука была более точной при использовании широкополосного сигнала. Количество ошибок в целом при локализации сигнала этого типа оказалось примерно на 28 % меньше, чем при применении тональной сигнализации. Использование же СИЗ органов слуха повысило количество ошибок в среднем на 15 % (для сигналов обоих типов).

Заключение. Таким образом, исследование показало, что без средств индивидуальной защиты порог обнаружения значительно ниже, чем фоновый шум (среднее отношение сигнал/шум составляет - 21 дБ для тонального сигнала заднего хода и - 16 дБ для широкополосного). В то же время порог реагирования примерно на 4 дБ ниже уровня фонового шума. Порог реагирования зависит от типа шума и типа сигнала в меньшей степени, чем порог обнаружения.

Использование СИЗ незначительно влияет на порог обнаружения, но заметно повышает порог реагирования. Кроме того применение защитных средств снижает способность работников к локализации сигнала.

Было выявлено, что в целом использование широкополосной сигнализации более предпочтительно с точки зрения обеспечения безопасности работающих в зоне движения грузовых автомобилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дмитриев М.С. Улучшение условий и охраны труда операторов зерноуборочных комбайнов за счет совершенствования механизмов регулирования рабочих органов [Текст]. Дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2004. – 230 с.
2. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Старунова И.Н. Повышение эффективности транспортно-технологических процессов и улучшение условий труда работников АПК за счет инженерно-технических устройств [Текст] : монография / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, И. Н. Старунова. – Челябинск: ЧГАА., 2010. – 291 с.
3. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Сушко Б.А. Оценка уровня безопасности труда операторов мобильных технологических и транспортных машин сельскохозяйственного назначения [Текст] / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, Б. А. Сушко // Вестник науки Костанайского социально-технического университета. Материалы международной науч. – практ. конференции «Алдамжарские чтения» – Алдамжар, 2008 – С. 74–80.
4. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Потемкина Д.В. Улучшение условий труда и повышение безопасности водителей автомобилей сельскохозяйственного назначения [Текст] / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, Д. В. Потемкина // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – М., 2006 - №9 – С. 17–20.
5. Wilkins, P.A, Martin, A. M. The effects of hearing protectors on the perception of warning and indicator sounds: A general review. Southampton: University of Southampton, 1978.
6. Alali, K. A., Casali, J. G. (2011). The challenge of localizing vehicle backup alarms: Effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup alarm spectral content. *Noise and Health*, 13(51), 99. doi: 10.4103/1463-1741.77202.
7. Alali, K., Casali, J.G. (2012). Auditory backup alarms: distance-at-first-detection via in-situ experimentation on alarm design and hearing protection effects. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41(supplement 1), 3599–3607.
8. Casali, J.G., Robinson, G.S., Dabney, E.C., Gauger, D. (2004). Effect of electronic ANR and conventional hearing protectors on vehicle backup alarm detection in noise. *Human Factors*, 46(1), 1-10.
9. Catchpole, K., Mckeown, D. (2007). A framework for the design of ambulance sirens. *Ergonomics*, 50(8), 1287-1301. doi:10.1080/00140130701318780.
10. CSA. (2014). *Protecteurs auditifs : performances, sélection, entretien et utilisation. Norme CSAZ94.2-14*. Ottawa, ON : CSA. Commission de la santé et de la sécurité du travail. (2011). *Revue de presse : le vendredi 9 septembre 2011*. Montréal, QC : CSST.
11. Giguère, C., Laroche, C., Osman, A., Zheng, Y. (2008). Optimal installation of audible warning systems in the noisy workplace. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) (Mashantucket, CT. p. 197-204).
12. Homer, J. P. (2008). Audible warning devices used in the mining industry. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Dearborn, MI (p. 678-688).
13. Lancaster, J. A., Alali, K., Casali, J. G. (2007). Interaction of vehicle speed and auditory detection of backup alarms AKA: Can the construction worker get out of the way? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(20), 1421-1424. doi: 10.1177/154193120705102010.
14. Laroche, C., Ross, M.-J., Lefebvre, L., Larocque, R. (1995). Détermination des caractéristiques optimales des alarmes de recul. (Rapport no R-117). Montréal, QC: IRSST.
15. Lovejoy, S. M. (2008). Determination of backup alarm masked threshold in construction noise (Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA).
16. May, K.R., Walker, B.N. (2017). The effects of distractor sounds presented through bone conduction headphones on the localization of critical environmental sounds. *Applied Ergonomics*, 61, 144-158. doi:10.1016/j.apergo.2017.01.009.
17. McKinley, R. L. (2000). Communication and localization with hearing protectors. *Damage Risk from Impulse Noise*, Aberdeen, MD.
18. Цой Д.Д., Хилько Е.А., Арутюнян Т.В. и др. Изучение частоты слияния и верхнего порога слышимости методом аудиометрии [Текст] / Д.Д. Цой, Е.А. Хилько, Т.В. Арутюнян и др. // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии. Материалы V Всероссийской научной конференции. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2015, Изд-во: Прондо. – С. 203–206.
19. Бобошко М.Ю., Бердникова И.П. и др. Психоакустические методы в диагностике центральных нарушений слуха при сенсоневральной тугоухости [Текст] / М.Ю. Бобошко, И.П. Бердникова и др. // Российская отоларингология. – С-Пб., 2017 - №2 (87) – С. 9–6.
20. Глинов Д.В. Аудиометрические методы диагностики состояния слухового анализатора [Текст] / Д.В. Глинов, Д.П. Юсупов, Л.Ф. Добро // Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах: труды X Всерос. науч. конф. молодых ученых и студентов: в 2 т. - Краснодар: Просвещение-Юг, 2013. - Т.1. - С. 36-38.

Статья поступила в редакцию 15.08.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020

УДК 614.82

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0036

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИНСТРУКТАЖЕЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ-ДЕФЕКТОСКОПИСТОВ,
ЗАНЯТЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА
ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

©2020

Крекова Ирина Сергеевна, аспирантка кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология»
Тверской государственной технической университет
(170023, г. Тверь, ул. Маршала Конева, 12, e-mail: inlin46@rambler.ru)

Аннотация. На предприятиях повышенной опасности происходят различные инциденты и аварии, к примеру, в нефтяной отрасли ежегодно происходит в среднем около 20 тыс. аварий, финансовые потери в год составляют в денежном выражении - до 500 млрд руб. Человеческий фактор, а именно он в 80% случаев становится причиной происшествий, только в одной отрасли обошелся стране в почти равную образовательным тратам сумму. Для сокращения вероятности возникновения аварийных ситуаций, крупные компании, в том числе, транснациональные структуры стали внедрять в свои рабочие процессы дополненную реальность. Реализация экспертизы промышленной безопасности на опасных производственных объектах с применением технологий ритуальной реальности возложена на инженера-дефектоскописта – специалиста, который занимается выявлением дефектов, механических повреждений и брака на производстве. Технология виртуальной реальности (virtual reality, VR) – это комплексная технология, позволяющая погрузить человека в иммерсивный виртуальный мир при использовании специализированных устройств (шлемов виртуальной реальности). В данной работе рассмотрены вопросы применения технологии виртуальной и дополненной реальности для проведения инструктажа, обучения и проверки знаний для инженеров-дефектоскопистов. В частности, представлен инструктаж дефектоскопистов при формировании маршрутов эвакуации (проведения контроля) на производстве при обнаружении критического дефекта, угрожающего здоровью и жизни окружающих. В работе приведена оценка целесообразности и сложности разработки VR-решений для реализации инструктажа экспертными организациями. В заключении представлены возможные направления использования VR-технологии на предприятиях повышенной опасности в России и за рубежом.

Ключевые слова: Инженер-дефектоскопист, инструктаж, промышленная безопасность, экспертиза промышленной безопасности, опасное производство, компьютерные технологии, VR-технологии, симуляция.

**METHODOLOGY FOR BRIEFING FOR FLAW DETECTORS ENGINEERS INVOLVED IN
INDUSTRIAL SAFETY EXPERTISE AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES**

©2020

Krekova Irina Sergeevna, ph.D. student of the Department «Life Safety and ecology»
Tver state technical University
(170023, Tver, st. Marshal Konev, 12, e-mail: inlin46@rambler.ru)

Annotation. At high-risk enterprises, various incidents and accidents occur, for example, in the oil industry, an average of about 20 thousand accidents occur annually, financial losses per year amount to up to 500 billion rubles in monetary terms. the Human factor, namely, it causes accidents in 80% of cases, has cost the country almost equal to educational expenses in just one industry. To reduce the probability of accidents, large companies, including multinational structures, have started to implement augmented reality in their work processes. The implementation of industrial safety expertise at hazardous production facilities with the use of ritual reality technologies is entrusted to the flaw detection engineer-a specialist who is engaged in detecting defects, mechanical damage and defects in production. Virtual reality (VR) technology is a complex technology that allows you to immerse a person in an immersive virtual world using specialized devices (virtual reality helmets). This paper discusses the use of virtual and augmented reality technology for instructing, training, and testing knowledge for flaw detection engineers. In particular, it provides instruction to flaw detectors in the formation of evacuation routes (control) at the production site when a critical defect is detected that threatens the health and life of others. The paper provides an assessment of the feasibility and complexity of developing VR solutions for the implementation of instruction by expert organizations. In conclusion, possible directions of using VR technology at high-risk enterprises in Russia and abroad are presented.

Keywords: Flaw detector engineer, briefing, industrial safety, industrial safety expertise, hazardous production, computer technology, VR technology, simulation.

Введение. Чаще всего инженер-дефектоскопист привлекается в работах на опасных производственных объектах, там, где дефекты могут привести к значительным затратам, угрожают жизни и здоровью персонала и населения, таким образом экспертизы промышленной безопасности становится наиболее

важной составляющей контроля на таких производствах, что и актуализирует тему статьи. Проблематика проведения инструктажей дополнительно актуализирует тему и тем, что очень сложно разработать нормативы для полевых условий, ввиду того, что порой сложно смоделировать все возможные дефекты на

крупных производствах с разветвленной системой оборудования. Кроме того, важно правильно спроецировать информацию на полевые условия, что для объемных и масштабных работ сделать умозрительно, без иллюстраций достаточно сложно.

Новые VR-технологии могут помочь с этим, погрузив специалиста инженера-дефектоскописта в условия полевой среды, где он может трехмерно изучать (в отличие от обычной иллюстрации на бумаге) объект с наличием дефектов, взаимодействовать с ним, а также при должной разработанной программе корректировать дефекты, получается своего рода обучающий симулятор для данной должности. Наблюдается что подобные решения активно воспринимаются специалистами в сравнении со скучными бумажными предписаниями в инструкции [15, с.17].

Материалы, методы и результаты исследования. Для начала разберемся, в чем же заключаются функции должности инженера-дефектоскописта. Чаще всего в его должностные обязанности включается знание видов дефектов и методов работы с ними, проведение работ по неразрушающему контролю и диагностике продукции, устройств в организации, он дает заключения о качестве контролируемых объектов и измерительных приборов, отвечает за сохранение эталонов, оценивает то, насколько то или иное подразделение нуждается в измерительных средствах.

На практике дефектоскопист – это специалист по неразрушающему контролю. В обязанности дефектоскописта включается диагностика объектов, а также их частей (узлов) на предмет обнаружения разных дефектов. Профессия дефектоскописта крайне ответственная, многопрофильная, сложная. Специалист неразрушающего контроля обязан уверенно действовать с дорогостоящим и сложным оборудованием, располагать широкими техническими знаниями, понимать стандарты, нормы дефектоскопистов, регламенты и разного рода техническую документацию [3, с.66].

Как понятно из описано выше и во введении - часто дефектоскопист работает на опасных производственных объектах, осуществляя экспертизу промышленной безопасности. Рассмотрим, какие при этом особенности накладываются на проведение инструктажа.

Письмом Роструда от 29.01.2013 N ТЗ/92-3-5 "О необходимости прохождения лицами, эксплуатирующими и обслуживающими технические устройства, предназначенные для применения на опасных производственных объектах, соответствующего обучения, инструктажа по безопасности, стажировки, проверки знаний и получения документов установленного образца для целей их допуска к указанной работе" регулирует этот процесс [2].

Следует отметить, что предписания этого документа очень обобщенные им не хватает конкретики, распишем как указанные предписания на практике реализуются в инструкциях на опасных производственных объектах для осуществления экспертизы промышленной безопасности. Безусловно, всё описанное

выше очень сильно уточняется и конкретизируется для конкретных видов объектов опасных производств и для конкретных предприятий.

Рассмотрим, какая может быть конкретика для инженеров-дефектоскопистов пусть даже без углубления в конкретную сферу промышленности, рассмотрим для этого реальные существующие инструкции (опустим тривиальные для инструкций части).

Если дефектоскопист должен выполнять задачи, которые имеют отношение к строповке и управлению грузоподъемными механизмами, то ему необходимо иметь удостоверение на право выполнения соответствующих работ [9, с.84].

При работе на дефектоскописта могут воздействовать следующие опасные и вредные производственные факторы: повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти сквозь тело работника; электромагнитные излучения постоянных полей и полей промышленной частоты; повышенный уровень шума и ультразвука; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; физическое перенапряжение [8 с.147].

По требованиям Приказа Министерства труда и социальной защиты РФ от 9 декабря 2014 г. № 997н дефектоскописта необходимо обеспечить средствами индивидуальной защиты, в состав которых входят хлопчатобумажный костюм с маслoneфтезащитной пропиткой; юфтевые ботинки на маслoneбензостойкой подошве; резиновый фартук; многослойные рукавицы; хлопчатобумажные, диэлектрические и резиновые перчатки; прорезиненные нарукавники; диэлектрические галоши. Данный список может варьироваться [1].

Дефектоскописту воспрещено оставлять без наблюдения дефектоскоп подключенным к электросети; работать во время болезни, а также в состоянии алкогольного опьянения; применять переносные осветительные приборы без предохранительных сеток, а также в состоянии неисправности и с неизолированными проводами; работать под поднятым грузом; работать без средств индивидуальной.

Перед началом работы специалист должен осмотреть диэлектрические перчатки, галоши, резиновые диэлектрические ковры на предмет механических повреждений. Также следует убедиться, что на диэлектрических перчатках и галошах стоит штамп проверки.

Дефектоскописту следует убедиться в наличии и работоспособности инструментов, в состав которых входят лупа, переносная лампа 36 В, шабера, рулетка и линейка из металла, металлическая щетка или скребок, шлифовальная шкурка, зеркало, расходные и обтирочные материалы, мелки или краски, а также необходимо проверить наличие нужных приборов и контрольных образцов.

Специалистам при работе с дефектоскопом нельзя трогать токоведущие части и электропневматический

привод, а также движущиеся и вращающиеся части оборудования.

Если дефектоскопа перемещают на другое место, нельзя протягивать и волочить провода по полу.

Перед дефектоскопированием все детали подлежат мойке и очистке от загрязнений, краски и ржавчины до базового металла. Специалист обязан делать это в защитных очках.

При работе с дефектоскопом следует применять переносные электрические осветительные приборы мощностью не более 36 В. Необходимо следить за тем, чтобы не было натяжения сетевого и соединительного проводов.

После окончания работы дефектоскоп следует отсоединить от сети. Переносной прибор также необходимо отсоединять от распределительного щита, чтобы провода не оставались под напряжением. Нельзя оставлять без присмотра специалистов подключенное к сети устройство.

Как видим, прописанный инструктаж тривиален, для его проведения не нужна особая методика. В то же время всё упирается в более глубокую конкретизацию для каждой отрасли. И там уже входит в предписания инструкции информация о том как проверять тот или иной материал, устройства, механизмы, трубы, вплоть до конкретных наименований работающих машин с указанием последовательности проведения действий, правильности реакции на те или иные параметры [20, с.28].

Описанные выше универсальные предписания для дефектоскописта тоже можно включить в обучение с помощью *VR*-технологий (если специалист включил не тот параметр питания или не проверил прибор будет отображаться ошибка), но более детальные локальные для производства требования будут более эффективно раскрывать потенциал *VR*-технологий [6, с.336].

Но опишем коротко, что собой представляют в целом *VR*-технологии (англ. *virtual reality*), т.е. мир, созданный с помощью высоких технологий, который транслируется человеку с помощью его органов чувств. Объекты этого мира, как правило, ведут себя сходно к поведению подобных объектов настоящей реальности [7, с. 88]. Чаще всего это возможность с помощью манипуляторов на руках взаимодействовать с объектом на объемной картинке, отслеживание перемещения человека в пространстве с синхронным перемещением картинки в виртуальном пространстве, то есть в отличие от средств мыши и клавиатуры, механизм повторяет наше повседневное общение с миром (дублируя настоящее изображение нарисованным) [10, с. 204]. Часто *VR*-технологии реализуются через *VR*-шлемы, *VR*-очки и дополняются манипуляторами на руках (рис.1) [18].

Конечно, наиболее продвинутые решения не очень дешевы, стоимость представленного на рисунке 1 комплекта более 100 тыс. рублей, но есть и модели, которые дешевле в несколько раз (рис. 2), вероятно их функционал будет достаточен для не требовательного

и размеренного изображения, механики в инструкции дефектоскописта.



Рисунок 1 – *VR*-комплект от Valve Index



Рисунок 2 – Шлем виртуальной реальности Oculus Go VR

Некоторые люди считают, что технологии этого типа используются только в качестве развлечения, когда пользователей «погружают» на дно океана или отправляют на космический корабль. Но с каждым годом спектр использования подобных инструментов распространяется и на прочие области. К примеру, промышленные компании России уже видят в *VR* новые возможности для обучения экспертов, проектирования копаний и ремонта уже имеющихся производственных площадок [5, с.56].

Ввиду того, что без знания конкретного места применения *VR*-технологий достаточно проблематично разработать точную методику проведения инструктажа – опишем его основные возможности, то, как мы может совместить *VR*-технологии и работу дефектоскописта в опасных условиях.

Всё лишь упирается в бюджет, есть на рынке решения от «Делойт Диджитал» и «*TapelntoSafety*» до локальных разработок, которые в данном случае и нужно, реализация конечно будет не дешевой, но для крупных мировых корпораций может быть приемлемой, либо может пригодиться повсеместно для особо опасных предприятий, где ошибка недопустима и её следует избегать любой ценой (например, атомная сфера).

Консалтинговая компания *KPMG* в рамках изучения проекта «Цифровые технологии на отечественных предприятиях», изданного в январе 2019 года и включившего больше 100 самых российский компаний, раскрыла восемь самых востребованных решений. На последнем месте оказались *VR/AR*-технологии — их применяют 21% респондентов. Обычно с ними работают в *IT*-секторе (40%), металлургической (33%) и нефтегазовой промышленности (25%), а также в телекоммуникационной отрасли (25%).

Как видим наше направление исследования очень

подходит под перечисленные отрасли, например, опасные производства могут быть как в металлургии, так и в нефтегазовой отрасли [19].

При проектировании тренировочных систем следует принимать во внимание то, какие технологии технически готовы к их применению и то, как они могут быть использованы в учебном процессе [14, с. 492]. Для чего неукоснительно нужен полноразмерный макет или даже настоящий образец, нужно представлять, что может быть выучено на тренажере с использованием *AR* и *VR*, для чего хватит простого айпада. Предпочтение технологии – это часть процесса проектирования тренировочных систем. А *VR* – это просто еще один инструмент в копилке разработчиков [4, с.85].

Опишем потенциальные решения. Более всего удобно реализовать следующую возможность *VR*-технологий, которые можно положить в основу разработки информационных систем, что даст возможность инструктировать специалистов при создании путей для эвакуации (проведении контроля) на производстве при обнаружении критической неисправности, которая представляет угрозу для окружающих людей [13, с. 492]. Система работает в трех режимах:

1. Инструктаж. Специалист видит зеленые указатели, изображающие корректный маршрут для эвакуации (проведения контроля);

2. Обучение. Зеленые указатели возникают через четверть минуты после того, как дефектоскопист остановился при передвижении по коридору, комнате или территории предприятия.

3. Контроль. Подсказки отсутствуют. Также включается таймер, который отмечает время, необходимое, чтобы выйти на безопасный участок либо принять верное решение [9, с.30].

Для режимов «Инструктаж» и «Обучение» необходимо реализовать возможность изменять скорость перемещения. Такая опция повышает индивидуальную эффективность благодаря ускорению или замедлению темпа. Поскольку для осуществления инструктажа с использованием *VR*-технологий не нужно специальное помещение, подобную процедуру можно проводить перед началом каждой смены и выполнять ее за непродолжительное время при отсутствии физического напряжения, что является несомненным плюсом [11, с.62].

Второй пример. Так как для дефектоскописта важна точность работы, принимаются во внимание и тактильные ощущения. Самой любопытной тут представляет *MR*-решение от *Rockwell Collins*, именованное как *Coalescence*. Такая структура представляется первой, потенциально возможной для реалистичной передачи тактильного чувства при инструктаже в виртуальной реальности. Эта смешанная структура применяет по-особому усовершенствованное настоящее оборудование и снаряжение, помимо привычных в таких условиях перчаток или одежды с вибромоторами, для произведения тактильных ощущений.

На рисунке 3 представлены потенциальные возможности дополненной реальности в будущем.



Рисунок 3 – Потенциальные возможности дополненной реальности [16, 17]

Для инструктажа дефектоскописта может быть полезно преобразование опыта, описанного в работе «Обеспечение охраны труда горнорабочих с использованием технологии *GOOGLE VR*» авторов Степанов Ю. А. и Бурмин Л. Н. [11].

При учете данных о том, как расположены горные выработки, была создана их трехмерная математическая модель. Затем в нее был включен модуль *GoogleVR*, который позволяет конвертировать данные с видеокамер на сцене *Unity 3D* в изображение, пригодное для практики с *VR*-очками. Пример визуального представления подземной части шахты можно увидеть на рисунке 4.

При применении всех вариантов управления действиями вектор перемещения рабочего определяется направлением взгляда – подобная реализация осуществляется хранилищами *Google VR*, а данные о начале или остановке передвижения запрашивали написание специальных сценариев поведения.

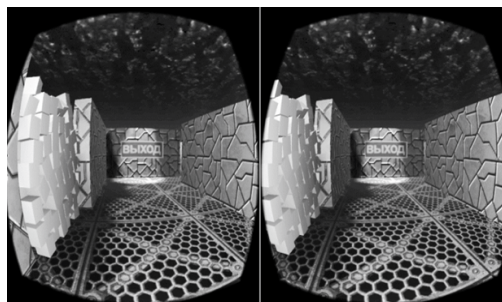


Рисунок 4 – Вид части шахты для *VR*-очков [10]

Еще одной проблемой для инструктирования дефектоскописта представляются кабели и масса шлема или очков. Все эти предметы должны быть беспроблемными, чтобы ничего не ограничивало движения пользователя и не путалось. Логично предположить, что избыточная масса инструментов для обучения может превратиться в существенный недостаток, поскольку из-за сильного перенапряжения шейного отдела позвоночника время использования таких комплектов может быть довольно ограниченным.

Заключение. Нельзя сказать, что VR-технологии для дефектоскопистов в опасных условиях труда это нечто абсолютно новое, скорее данные разработки не очень освещаются, так как их сложно универсализировать.

Например, обнаружено, что Московский нефтеперерабатывающий завод внедрил AR-систему по контролю и обеспечению отслеживания дефектов для сети газоизмерительных приборов, датчиков, расположенных по большой территории в труднодоступных местах, но спрашивающих систематического наблюдения и проверки. Это предоставило значимую экономию времени и разрешило дополнительно автоматизировать процесс.

Компания *Simtars* в Австралии выпустила вводный учебный курс для снабжения безопасности труда персонала в шахтах. За счет виртуальной симуляции опасных обстоятельств стажеры устанавливают уровень угрозы и учатся использовать методы её контроля и ликвидации, не выходя за территорию учебного класса.

Стартап *Aira* вместе с тем разработала нейросетового помощника, различающего и проговаривающего всё, что попадает в камеру очков, и живого сотрудника компании, что поможет не растеряться по той же камере в экстренной ситуации при контроле.

Представленные в данной статье решения очень обтекаемы, они базируются на инструктаже дефектоскописта, на проведении работ по контролю с помощью технологий, включающих передачу информации о дефектах через тактильные ощущения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 9 декабря 2014 г. № 997н «Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением» (Зарегистрировано в Минюсте России 26.02.2015 N 36213).

2. Письмо Роструда от 29.01.2013 N ТЗ/92-3-5 Вопрос: О необходимости прохождения лицами, эксплуатирующими и обслуживающими технические устройства, предназначенные для применения на опасных производственных объектах, соответствующего обучения, инструктажа по безопасности, стажировки, проверки знаний и получения документов установленного образца для целей их допуска к указанной работе.

3. Бехер, С. А. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии : учеб. пособие / С. А. Бехер, А. Л. Бобров. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. – 145 с.

4. Буянов А. С., Бершадская Е. Г. Средства создания виртуальных реальностей // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 85–95.

5. Ерохин С.В. Технологии виртуальной реальности как инструмент повышения эффективности решений в системе образования // Ценности и смыслы. 2012. №2 (18). С.50–63.

6. Зеленко Л.С., Топунов А.В., Загуменнов Д.А. Интерактивная интеллектуальная обучающая система, построенная на основе технологии виртуальных миров, как средство активизации учебно-познавательной деятельности учащихся. // Материалы XVII Всероссийской научно-методической конференции Телематика 2010. СПб., 2010. С. 335–336.

7. Иванова А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения // СРРМ. 2018. №3 (108). С. 88-107.

8. Крекова И.С. Анализ причин возникновения профессиональных заболеваний у дефектоскопистов неразрушающего контроля [Текст] // Вестник ТвГУ. Серия: Науки об обществе и гуманитарные науки, 2017, № 1. - С. 146 - 150;

9. Мотулевич А.В. Проблемы экологической безопасности предприятий тепловой энергетики // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №5. С. 13 – 18.

10. Соснило А.И., Устюжанина М.Д. Технологии виртуальной и дополненной реальности как факторы государственной экономической политики и роста конкурентоспособности бизнеса // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2019. №2. С. 204-212.

11. Степанов Ю. А., Бурмин Л. Н. Моделирование маршрутов спасения работников при возникновении чрезвычайной геомеханической ситуации // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 8. С. 26–33.

12. Степанов Ю.А., Бурмин Л.Н. Обеспечение охраны труда горнорабочих с использованием технологии Google vr // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. №3 (3). С.60–64.

13. Хубаев А. О., Саакян С. С. Повышение эффективности возведения монолитных конструкций с применением технологии виртуальной и дополненной реальности // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №12. С. 492-495.

14. Чуланов А.О., Бондарь Е.М., Радченко В.М., Федоров Н.А., Лещина А.Е. Применение систем виртуальной реальности при подготовке персонала к борьбе за живучесть // Программные продукты системы. 2015. №4. С.34-38

15. Chalmers A.G., Howard D., Moir C. Real Virtuality: A Step Change from Virtual Reality // Proc. Spring Conference on Computer Graphics SCCG'09. ACM SIGGRAPH Press, 2009. Pp. 15–22.

16. Gergana M. How Augmented Reality Is Transforming the Construction Industry = Геггана Милева Как дополненная реальность трансформирует строительную отрасль [Электронный ресурс] // Gergana Mileva. Prague, CZ [Электронный ресурс] URL: <https://arpost.co/2019/05/08/how-augmented-reality-is-transforming-the-construction-industry/>

17. Kaiser R., Schatsky D. (2017) For more companies, new ways of seeing. Momentum is building for augmented and virtual reality in the enterprise // Deloitte University Press. URL:<https://www2.deloitte.com>

18. Home M. W. Virtual reality at the British Museum: What is the value of virtual reality environments for learning by children and young people, schools, and families?. – 2016.

19. Luhmann T. et al. Close range photogrammetry: principles, techniques and applications. – Whittles, 2006.

20. Zyda M. From visual simulation to virtual reality to games // Computer. – 2005. – Т. 38. – №. 9. – С. 25–32.

Статья поступила в редакцию 27.07.2020

Статья принята к публикации 14.09.2020