

vek21.penzgtu.ru

18+

ISSN 2221-951X

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

пнчос



2021
№ 3(55) Т. 10



технические науки



XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Учредитель – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

Редакционная коллегия:

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

Ответственный секретарь

Коростелева Анна Владимировна, кандидат технических наук

© ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 2021

Основан в 2011 г.

18+

Том 10
№ 3 (55)
2021

Журнал выходит
4 раза в год

Входит в ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Пензенской области ПИ № ТУ 58 – 00243 от 27 апреля 2015 года.

Компьютерная верстка:
В.В. Зупарова

Технический редактор:
В.В. Зупарова

Адрес редколлегии, учредителя,
редакции и издателя
ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный технологический
университет»:
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, д. 1а/11
Тел.: 8(8412) 20-86-39;
E-mail: journal21@penzgtu.ru;
Сайт: <https://vek21.penzgtu.ru>

Подписано в печать 20.09.2021.
Выход в свет 29.09.2021.
Формат 60X84 1/8
Печать ризография.
Усл. печ. л. 22,1.
Тираж 100 экз. Заказ № 185.

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 «Безопасность жизнедеятельности» (Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский 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, главный научный сотрудник отдела научных направлений исследований комплексной переработки сельскохозяйственного сырья СибНИТИП
(Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, п. Краснообск, Новосибирская обл., Россия)

Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, директор института автоматизации и информационных технологий
(Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия)

Давыденко Наталия Ивановна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология и организация общественного питания», начальник отдела подготовки научных кадров
(Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия)

Дмитриев Михаил Сергеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам
(Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет)

Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Вычислительная техника»
(Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия)

Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор,
проректор по учебной работе, заведующий кафедрой «Высшая и прикладная математика»
(Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия)

Косников Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы»
(Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия)

Кручинина Наталия Евгеньевна, доктор технических наук, профессор,
декан факультета биотехнологии и промышленной экологии, заведующий кафедрой «Промышленная экология»
(Российский государственный химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
г. Москва, Россия)

Маммадова 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)

Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и моделирования»
(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 научно-исследовательского
центра Академия гражданской защиты
(Академия гражданской защиты МЧС России, г. Москва, Россия)

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

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 и техносферная безопасность»
(Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия)

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

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

Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент, 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

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ КОЛЬЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ Чулков Валерий Александрович.....	10
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ Дали Фарид Абдулалиевич.....	16
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ Казымов Иван Максимович, Компанеец Борис Сергеевич.....	19
УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МАТЕРИАЛОВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ Михайлов Петр Григорьевич, Базарбай Лашын, Бактыбаев Мурат Кыргызбаевич.....	25
РАННЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ПОСТЕПЕННЫМ ХАРАКТЕРОМ ПРОТЕКАНИЯ ВО ВРЕМЕНИ Воробьев Юрий Михайлович, Дмитриенко Герман Вячеславович.....	29
СИНТЕЗ МОДУЛЯРНОГО АЦП С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ФАЗЫ Кожевников Алексей Александрович.....	35
НЕЧЕТКО – ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛИЕНТА ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ Аксентьев Андрей Александрович, Сизов Александр Семенович.....	40
ИНТЕРНЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНОГО LPWAN Михайлов Петр Григорьевич, Зикирбай Куаныш, Базарбай Лашын, Бактыбаев Мурат Кыргызбаевич, Алимбаев Шынгыс.....	47
КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ НА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТАХ И ТЕРРИТОРИЯХ Дали Фарид Абдулалиевич.....	53
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ Сидоренко Андрей Сергеевич, Дадыкин Валерий Сергеевич.....	57
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ Трифонов Андрей Андреевич, Петрунина Елена Валерьевна, Лазурина Людмила Петровна.....	61
СИСТЕМА КРИТЕРИЕВ И АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ СОБЫТИЙ МОНИТОРИНГА В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ Щемелинин Дмитрий Александрович.....	67
ВЫБОР СРЕДСТВ ВИДЕОЭППИНГА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Косников Юрий Николаевич, Ашкирина Оксана Олеговна.....	72

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ЗАГРЯЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЦЕПИ Тарасов Денис Александрович, Большаков Герман Сергеевич, Волков Владимир Васильевич, Аксенова Елена Александровна.....	77
ФОМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Дунаева Кристина Викторовна.....	81
СТРУКТУРА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ Бекбай Айнұр Токтарғалиқызы, Ожикенов Касымбек Адильбекович, Бодин Олег Николаевич, Чекайкин Сергей Васильевич, Алимбаев Чингиз Абдраимович.....	86
МОНИТОРИНГ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ ОКР ОБОРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Крюков Алексей Анатольевич.....	91
МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ДОВЕРИЯ Пашенко Дмитрий Владимирович, Бальзанникова Елена Алексеевна.....	96
ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА Байбаров Дмитрий Анатольевич.....	100
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР КОРПУСОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ НАГРУЗОК Вольников Михаил Иванович.....	106

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОРЕОБРАЗНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МЯКОТИ ТЫКВЫ Школьникова Марина Николаевна, Аббазова Венера Нагимовна.....	112
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕЛАТИНА ПОЛУЧЕННОГО БИОКАТАЛИТИЧЕСКИМ И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫМ МЕТОДАМИ Ворошилин Роман Алексеевич.....	117
ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ С РАЗЛИЧНОЙ СУБСТРАТНОЙ СПЕЦИФИЧНОСТЬЮ НА ГИДРОЛИЗ ЛУЗГИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА Фоменко Иван Андреевич.....	121
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СУШКИ НА СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ В ТЫКВЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТАХ Нилова Людмила Павловна, Малютенкова Светлана Михайловна.....	125
ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА <i>SCHISANDRA CHINENSIS</i> Фролова Нина Анатольевна, Резниченко Ирина Юрьевна, Шкрабтак Наталья Викторовна.....	129
ВЛИЯНИЕ МУКИ ИЗ ЭКСТРУДИРОВАННОЙ КОМПОЗИТНОЙ СМЕСИ СЕМЯН РАСТОРОПШИ И ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ НА ПОДЪЕМНУЮ СИЛУ ПРЕССОВАННЫХ ДРОЖЖЕЙ Шматкова Наталья Николаевна, Кручинина Наталья Эдуардовна.....	133

ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МАСЛА РЫЖИКА, ВЫРАЩЕННОГО В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ Жиганова Елена Сергеевна, Садыгова Мадина Карипулловна, Жиганов Даниил Александрович.....	138
РЫНОК АНАЛОГОВ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В РОССИИ: АССОРТИМЕНТ, СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ Макарова Анна Андреевна, Крюкова Екатерина Владимировна.....	142
БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА (ОНСAS 18001) НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ Фролова Нина Анатольевна, Шкрабтак Наталья Викторовна.....	147
О ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЯ ТРЕВОЖНОСТИ СОТРУДНИКОВ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНОЙ И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ СТАЖА РАБОТЫ Дворянов Александр Васильевич, Сайфетдинова Марьям Кяримовна, Бареева Румия Загимардановна, Григорьев Петр Владимирович, Щуренкова Александра Петровна.....	150
СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ Виноградов Олег Станиславович, Виноградова Наталья Александровна, Завалин Владимир Викторович, Ульянов Алексей Алексеевич.....	154
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ СОЕДИНЕНИЯМИ УРАНА Пашинин Валерий Алексеевич, Ануфриева Светлана Михайловна, Панфилова Марина Ивановна, Леонова Данута Амброжьевна, Ефремова Сания Юнусовна.....	159
ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ УСТАНОВЛЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА Лебедев Андрей Юрьевич, Бельшина Юлия Николаевна, Черушов Игорь Викторович.....	164
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДОРОЖНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ «АЛА-АРЧА» Мамрега Валерий Викторович.....	169
КОМПОНЕНТЫ ГОТОВНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ВУЗА К БЕЗОПАСНОМУ ПОВЕДЕНИЮ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ Сошина Наталья Леонидовна, Нагорный Роман Владимирович.....	173

CONTENT
INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING

RING OSCILLATOR FREQUENCY CONTROL Chulkov Valery Alexandrovich.....	10
METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF GRAPHIC USER INTERFACES OF SOCIO-ECONOMIC CONTROL SYSTEMS Dali Farid Abdulalievich.....	16
DATA PROCESSING AND MAKING DECISIONS IN THE SYSTEM FOR CONTROL OF ELECTRIC ENERGY PARAMETERS IN THE DISTRIBUTION NETWORK Kazymov Ivan Maksimovich, Kompaneets Boris Sergeevich.....	19
CONTROL OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS OF MICROELECTRONIC SENSORS Mikhailov Petr Grigorievich, Bazarbai Lashyn, Baktybaev Murat Kyrgyzbaevich.....	25
EARLY DETECTION OF MALFUNCTIONS OF ELEMENTS AND DEVICES OF COMPUTER EQUIPMENT WITH A GRADUAL CHARACTER OF PROCESSING IN TIME Vorobyov Yuri Mikhailovich, Dmitrienko German Vyacheslavovich.....	29
SYNTHESIS OF A MODULAR ADC WITH INTERMEDIATE PHASE CONVERSION Kozhevnikov Aleksey Aleksandrovich.....	35
USING FUZZY LINGUISTICS TO DETERMINE CUSTOMER SATISFACTION LEVEL Aksentjev Andrey Alexandrovich, Sizov Alexander Semenovich.....	40
INTERNET OF ENERGY THINGS BASED ON WIRELESS <i>LPWAN</i> Mikhailov Petr Grigorievich, Zikirbai Kuanys, Bazarbai Lashyn, Baktybaev Murat Kyrgyzbaevich, Alimbaev Shyngys.....	47
DESIGN CONCEPT FOR EMERGENCY INFORMATION SYSTEMS ON DIFFICULT OBJECTS AND TERRITORIES Dali Farid Abdulalievich.....	53
MODELING OF THE PROJECT PORTFOLIO MANAGEMENT SYSTEM FOR A GEOLOGICAL EXPLO-RATION ENTERPRISE Sidorenko Andrey Sergeevich, Dadykin Valery Sergeevich.....	57
CONTEMPORARY TENDENCES OF THE ROBOT-ASSISTED NEUROREHABILITATION Trifonov Andrej Andreevich, Petrunina Elena Valerievna, Lazurina Lyudmila Petrovna.....	61
SYSTEM OF CRITERIA AND ALGORITHM OF INFORMATION PROCESSING AND DECISION-MAKING FOR THE SOFTWARE MODULE FOR DISPLAYING THE MOST SIGNIFICANT MONITORING EVENTS IN THE INFORMATION SYSTEM Shchemelinin Dmitry Aleksandrovich.....	67
CHOOSING VIDEO MAPPING TOOLS FOR INFORMATION MATERIALS VISUALIZATION Kosnikov Yuri Nikolaevich, Ashkirina Oksana Olegovna.....	72
ANALYSIS OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF A MOBILE BARRIER BASED ON A MECHANICAL CHAIN MODEL Tarasov Denis Aleksandrovich, Bolshakov German Sergeevich, Volkov Vladimir Vasilievich, Aksenova Elena Aleksandrovna.....	77

FORMATION OF A STRATEGIC CONCEPT FOR THE DEVELOPMENT OF THE CORPORATE INFORMATION SYSTEM OF INDUSTRIAL ENTERPRISES Dunaeva Kristina Viktorovna.....	81
STRUCTURE OF THE MEDICAL INFORMATION SYSTEM BASED ON MULTI-AGENT TECHNOLOGY Bekbay Ainur Toktargalikyzy, Ozhikenov Kassymbek Adilbekovich, Bodin Oleg Nikolaevich, Chekaykin Sergey Vasilyevich, Alimbayev Chingiz Abdraimovich.....	86
MONITORING OF PRODUCTION RISKS OF EXPERIMENTAL AND DESIGNED WORKS OF DEFENSE ENTERPRISES Kryukov Aleksey Anatol'yevich.....	91
A METHOD FOR IDENTIFYING A USER BY KEYBOARD HANDWRITING USING A TRUST MODEL Pashchenko Dmitriy Vladimirovich, Balzannikova Elena Alekseevna.....	96
ASSESSING THE PRODUCTIVITY AND ECONOMIC VIABILITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR AUTOMATING OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION Baybarov Dmitriy Anatolyevich.....	100
SIMULATION OF DYNAMICS OF SPACECRAFT HULL HETEROSTRUCTURES UNDER IMPACT LOADS Vol'nikov Mikhail Ivanovich.....	106
<i>FOOD TECHNOLOGY</i>	
RESEARCH OF THE INFLUENCE OF ENZYMATIC PROCESSING ON THE QUALITY OF PURE-like SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM PUMPKIN PULP Shkolnikova Marina Nikolaevna, Abbazova Venera Nagimovna.....	112
RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GELATIN OBTAINED BY BIOCATALYTIC AND ULTRAFILTRATION METHODS Voroshilin Roman Alekseevich.....	117
INFLUENCE OF ENZYME PREPARATIONS WITH DIFFERENT SUBSTRATE SPECIFICITY ON HYDROLYSIS OF SUNFLOWER HOOD Fomenko Ivan Andreevich.....	121
INFLUENCE OF DRYING REGIMES ON THE CONTENT OF CAROTENOIDS IN PUMPKIN SEMI-FINISHED PRODUCTS Nilova Liudmila Pavlovna, Malyutenkova Svetlana Michailovna.....	125
RESEARCH ON THE ANTIOXIDANT POTENTIAL OF <i>SCHISANDRA CHINENSIS</i> Frolova Nina Anatolyevna, Reznichenko Irina Yurievna, Shkrabtak Natalia Viktorovna.....	129
THE EFFECT OF FLOUR FROM AN EXTRUDED COMPOSITE MIXTURE OF MILK THISTLE SEEDS AND WHEAT GRAIN ON THE LIFTING FORCE PRESSED YEAST Shmatkova Natalia Nikolaevna, Kruchinina Natalia Eduardovna.....	133
FATTY ACID COMPOSITION OF GINGER OIL GROWN IN THE SARATOV REGION Zhiganova Elena Sergeevna, Sadygova Madina Karipullova, Zhiganov Daniil Aleksandrovich.....	138
THE MARKET OF ANALOGUES OF MEAT SEMI-FINISHED PRODUCTS IN RUSSIA: ASSORTMENT AND DEVELOPMENT TRENDS Makarova Anna Andreevna, Kryukova Ekaterina Vladimirovna.....	142

HUMAN ACTIVITY SAFETY

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE IMPLEMENTATION OF THE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEM (OHSAS 18001) AT INDUSTRIAL ENTERPRISES Frolova Nina Anatolyevna, Shkrabtak Natalya Viktorovna.....	147
ON THE DEPENDENCE OF THE LEVEL OF ANXIETY OF SEARCH-RESCUE AND TECHNOSPHERE SAFETY EMPLOYEES ON THE WORK EXPERIENCE Dvoryanov Alexander Vasilievich, Sayfetdinova Maryam Kyarimovna, Bareeva Rumiya Zagimardanovna, Grigoriev Petr Vladimirovich, Shchurenkova Alexandra Petrovna.....	150
WAYS TO IMPROVE THE TECHNOSPHERE SAFETY OF ELECTROCHEMICAL INDUSTRIES Vinogradov Oleg Stanislavovich, Vinogradova Natalia Alexandrovna, Zavalin Vladimir Viktorovich, Ulyanov Alexey Alekseevich.....	154
DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETECTING WATER POLLUTION BY URANIUM COMPOUNDS Pashinin Valery Aleksevich, Anufrieva Svetlana Mikhailovna, Panfilova Marina Ivanovna, Leonova Danuta Ambrogiana, Efremova Sania Yunusovna.....	159
STUDY OF ACOUSTIC PROPERTIES OF NATURAL STONE MATERIALS IN PURPOSE OF ESTABLISHING A FIRE FOCUS Lebedev Andrey Yuryevich, Belshina Yuliya Nikolayevna, Cherushov Igor Viktorovich.....	164
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ROAD CONTROL SYSTEM «ALA-ARCHA» Mamrega Valery Viktorovich.....	169
COMPONENTS OF THE PREPAREDNESS OF UNIVERSITY STUDENTS FOR SAFE EMERGENCY BEHAVIOUR Soshina Natalia Leonidovna, Nagornyy Roman Vladimirovich.....	173

УДК 621.373.54

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0001

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ КОЛЬЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

©2021

Чулков Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия»

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

Аннотация. Статья посвящена анализу существующих и перспективных схем кольцевых генераторов импульсов с электронным управлением частотой колебаний, необходимых в устройствах передачи и обработки информации. По обобщенной формуле частоты колебаний кольцевого КМОП генератора указаны пути ее регулирования изменением параметров перезаряда емкостей нагрузки его каскадов. Проведен анализ отдельных схемных решений для широкодиапазонного регулирования частоты. Наряду с традиционным способом обеднения тока КМОП инверторов, представлены альтернативные решения, в том числе использующие двунаправленные ключи в межкаскадных связях генератора, регулирование емкостей нагрузки каскадов, изменение питающих напряжений и напряжений смещения подложек МОП транзисторов, а также построение многоконтурных кольцевых генераторов с опережающей фазовой интерполяцией.

Ключевые слова: кольцевой генератор, импульс, задержка, элемент, фазовая интерполяция, модуляционная характеристика.

RING OSCILLATOR FREQUENCY CONTROL

©2021

Chulkov Valery Alexandrovich, doctor of technical sciences, associate professor,
head of the department of Biomedical Engineering

*Penza State Technological University
(440039, Russia, Penza, Baydukov passage / Gagarina street, 1a / 11, e-mail: chu@penzgtu.ru)*

Abstract. The article is devoted to analysis of existing and promising circuits of ring pulse oscillators with electronic control of oscillation frequency required in information transmission and processing devices. According to the generalized formula of the oscillation frequency of the ring CMOS oscillator, the ways of its regulation by changing the parameters of recharging the its cascades load capacities are showing. Analysis of individual circuit solutions for wide-band frequency control was carried out. Along with the traditional current starving method in CMOS inverters, alternative solutions are presented, including using bidirectional keys in the inter-stage connections of the oscillator, controlling the load capacities of the cascades, changing the supply voltages and displacement voltages of the MOS transistor substrates, as well as constructing multi-circuit ring oscillators with ahead phase interpolation.

Key words: ring oscillator, pulse, delay, element, phase interpolation, modulation characteristic.

Введение. Генераторы импульсов с электронной перестройкой частоты применяются во многих телекоммуникационных и измерительных устройствах и системах, в том числе в цифровых преобразователях информации, системах синхронизации с автоподстройкой фазы (PLL – Phase Lock Loop) и задержки (DLL – Delay Lock Loop), синтезаторах частоты, точных измерителях однократных интервалов времени и пр. В последние десятилетия развитие полупроводниковых технологий дало возможность усовершенствовать схемотехнику кольцевых генераторов импульсов (КГ), снабдив их средствами управления, снимающими проблему нестабильности частоты. К достоинствам КГ, представляющих собой цепочку цифровых элементов задержки (ЭЗ) с инверсной обратной связью, относятся естественное сопряжение с цифровым ядром СБИС, отсутствие внешних хронизирующих элементов, способность работать в широком диапазоне частот вплоть до нескольких ГГц [1, 2]. В последние годы появилось множество сообщений о новых разработках устройств на основе КГ, все разнообразие способов управления которыми можно разделить на аналоговые и цифровые. По первому из них

выполняется регулирование на уровне составляющих КГ элементов, а по второму – как на уровне элементов, так и на уровне структуры генератора без воздействия на отдельные каскады.

Целью настоящей работы является обзор публикаций и сравнительный анализ новых способов электронной перестройки частоты КГ.

В общем виде управляющая (модуляционная) характеристика КГ для аналогового способа управления может быть представлена выражением

$$f = f_0 + S_r U_y, \quad (1)$$

где f_0 – центральная частота колебаний, S_r (Гц/В) – крутизна модуляционной характеристики, U_y – управляющее напряжение. При цифровом способе управления крутизна модуляционной характеристики – это приращение частоты на единицу управляющего кода D , значение которого располагается в пределах от 0 до $(2^n - 1)$, где n – разрядность кода, а сама характеристика может быть представлена в виде

$$f = f_0 + S_r (D - 2^{n-1}). \quad (2)$$

Здесь крутизна S_r (Гц) определяется отношением $S_r = \Delta f / 2^n$, где $\Delta f = f_{max} - f_{min}$ – полный диапазон перестройки частоты. При изменении управляющего кода

от 0 до $(2^n - 1)$ частота меняется от $f_{min} = f_0 - \Delta f/2$ до $f_{max} = f_0 + \Delta f/2$. Выражения (1), (2) предполагают линейность характеристики, которая не всегда достижима в полном диапазоне перестройки частоты, однако вполне приемлемо в окрестностях рабочей точки характеристики при анализе динамики схемы.

В настоящей работе обобщаются сведения о способах аналогового управления частотой колебаний кольцевых генераторов импульсов.

Материалы и результаты исследования. Способы аналогового управления частотой колебаний КГ базируются на сопряженном изменении времени задержки составляющих его каскадов и зависят от их конкретного исполнения. Сопоставляя формулы, описывающие частоту колебаний КГ в зависимости от параметров его компонентов, определяющих процесс перезаряда времязадающей емкости [3], можно прийти к общему выражению

$$f = \frac{I_c}{2N\Delta U_c C_H}, \quad (3)$$

где: C_H – хранирующая емкость (емкость нагрузки элемента задержки – каскада КГ), I_c и ΔU_c – ток перезаряда емкости C_H и размах напряжения на ней, N – число каскадов КГ. Откуда следует, что для управления частотой колебаний необходимо либо регулировать ток перезаряда емкости нагрузки каждого ЭЗ, либо изменять емкость нагрузки ЭЗ, либо перестраивать размах формируемого ЭЗ напряжения.

На рисунке 1 представлена схема управляемого КГ с обеднением тока смещения, (в англоязычной литературе способ получил название *current starving* [4]). В этой схеме комплементарные МОП-транзисторы каждого каскада T_{pi} и T_{ni} с каналами соответственно n и p

типов составляют инвертор, а МОП-транзисторы T_{bpi} и T_{bni} служат источниками тока для инвертора. Равенство по модулю токов I_b этих источников обеспечивает токовое зеркало, построенное на транзисторах T_{bns} , T_{bn9} и T_{bns} . Благодаря малой величине тока смещения I_b транзисторы работают вблизи подпороговой области и следовательно, обеспечивается низкое энергопотребление схемы. Изменяя управляющий ток, можно одновременно в каждом каскаде изменять время заряда и разряда емкости СН затвора следующего каскада, и, следовательно, частоту колебаний КГ в соответствии с (3). Как и для любой схемы с КМОП инверторами, мощность потребления пропорциональна рабочей частоте.

Широкий диапазон перестройки частоты колебаний вплоть до весьма низких частот, характерных, например, для биотелеметрии, достигается при использовании управляемых аналоговых ключей в качестве регулируемых резисторов в межкаскадных связях КГ на основе цепи инверторов, при которых каждый каскад представляет элемент задержки с двунаправленным МОП ключом [5, 6]. Принципиальная схема трехкаскадного КГ данного типа, изображенная на рисунке 2, состоит из объединенных в кольцо элементов задержки с межкаскадными управляемыми сопротивлениями.

Управляющее напряжение U_y подается на затворы n -канальных транзисторов двунаправленных ключей непосредственно, а на затворы p -канальных транзисторов – через согласующий каскад (СК), который вырабатывает напряжение $(E - U_y)$, т.е. то же управляющее напряжение, отсчитанное от уровня питающего напряжения.

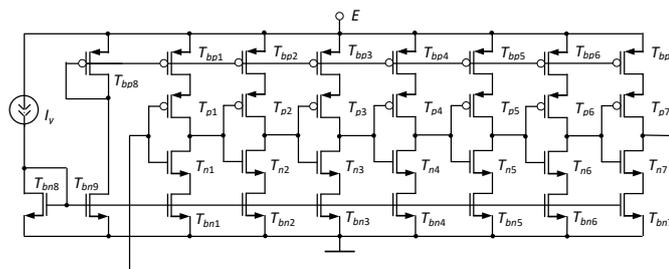


Рисунок 1 – Кольцевой генератор импульсов на инверторах с обеднением тока

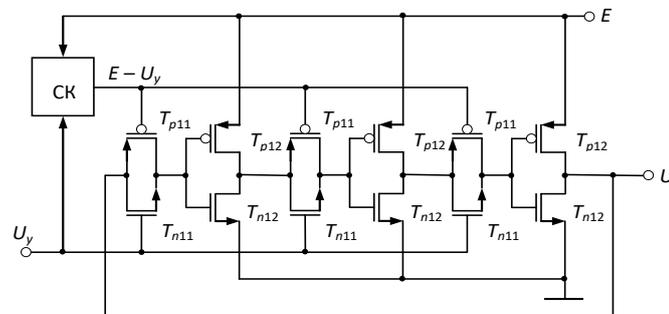


Рисунок 2 – Кольцевой генератор импульсов с управляемыми межкаскадными связями

Поскольку время задержки одиночного каскада в таком генераторе определяется эквивалентным сопротивлением ключа [7], то частоту можно представить следующим выражением:

$$f = \frac{K(U_y - U_t)^2}{2NEC_H \ln 2}, \quad (4)$$

где E – питающее напряжение, K и U_t – модули

удельной крутизны и порогового напряжения транзистора (полагаются одинаковыми по абсолютному значению для комплементарных n - и p -канальных транзисторов), U_y – управляющее напряжение. Полагая диапазон управляющего напряжения $U_y = 0 \dots E$, несложно убедиться, что верхняя граница диапазона перестройки частоты составляет $f = K(E - U_i)^2 / (2NEC_{II} \ln 2)$, нижняя граница при $U_y \rightarrow U_i$ стремится к нулю. Результаты эксперимента, выполненного над подобной схемой, построенной по 0,18 мкм технологии при питающем напряжении 3,3 В [7, 8], подтверждают ожидаемые характеристики: частота колебаний регулируется в пределах от десятков герц до сотен мегагерц – для управляющего напряжения 0,4 В и 3 В частота составила соответственно от 8 МГц до 454 МГц [8].

Близким по сущности к этому способу является способ, при котором изменяется величина емкостной нагрузки каждого каскада генератора, для чего могут использоваться емкости варакторов или участков затвор-канал МОП транзисторов (рис. 3а, 3б).

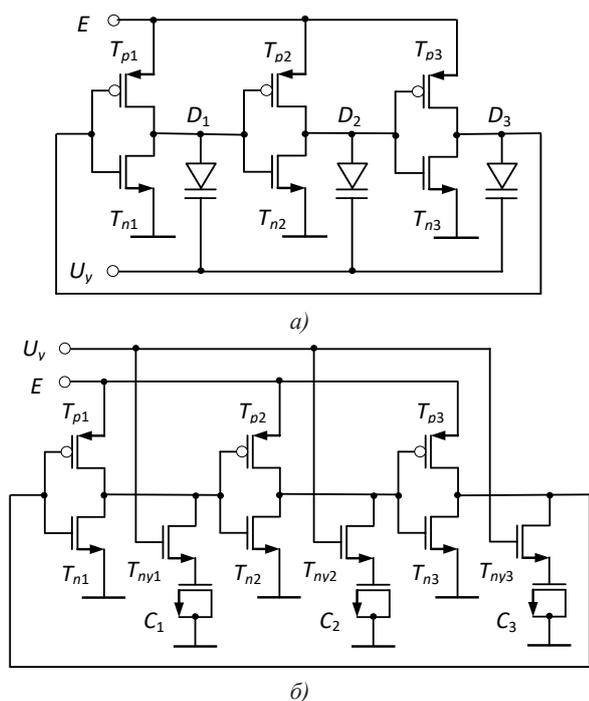


Рисунок 3 – Варианты схем КГ с управляемой емкостью нагрузки в виде варактора (а) и емкости затвора транзистора (б)

Варактор (варикап) представляет собой по сути p - n переход, полная ёмкость определяется суммой барьерной и диффузионной ёмкостей. При прямом смещении ёмкость в основном определяется диффузионной составляющей, возрастающей при увеличении напряжения смещения, а при обратном смещении перехода ($U < 0$) равна барьерной ёмкости, которая уменьшается с ростом напряжения по степенному закону

$$C_0(U) = C_0(1 - U/\phi_k)^{-\lambda},$$

где: C_0 – максимальное значение емкости при $U=0$, ϕ_k – контактная разность потенциалов, λ – показатель степени, зависящий от распределения примеси

в полупроводниковой структуре ($\lambda > 0$). Варактор в каждом каскаде КГ включен параллельно входной емкости следующего каскада, его емкость составляет часть общей емкости нагрузки. Типичное значение емкости C_0 варактора обычно располагается в пределах от долей до единиц пикофарад, что соизмеримо с входной емкостью инвертора. Поэтому, хотя коэффициент перекрытия по емкости варактора может достигать нескольких десятков, диапазон перестройки частоты колебаний КГ с варакторным управлением зависит от соотношения емкостей варактора и нагрузочного инвертора и на практике не превышает октавы.

На рисунке 3б показан вариант схемы трехкаскадного КГ, перестройка частоты колебаний которого осуществляется путем изменения постоянной времени перезаряда емкости нагрузки инвертора, роль которой возложена на емкость затвор-канал МОП транзистора. Эта емкость определяется конструктивными параметрами транзисторов – длиной канала и толщиной подзатворного окисла, а также степенью частичного перекрытия областей затвор-исток и затвор-сток, принципиально необходимого у транзисторов с индуцированным каналом. Очевидно, что эта емкость того же порядка, что и входная емкость инвертора нагрузки, поэтому даже при полностью открытом управляющем транзисторе T_{ny} общая емкость нагрузки увеличится не более, чем на 50%, что ограничивает диапазон перестройки частоты. Впрочем, сочетание этого метода с другими, например с обеднением тока, способно расширить диапазон перестройки на несколько порядков [9].

Так как частота колебаний КГ зависит и от питающего напряжения, которое в КМОП инверторе можно изменять в широких пределах без нарушения работоспособности, то это свойство также можно использовать для управления частотой колебаний [10]. В схеме, показанной на рисунке 4 задержка инверторных каскадов регулируется путем уменьшения напряжения источника питания E до уровня E^* с помощью транзистора T_p , сопротивление канала которого зависит от управляющего напряжения U_y . Фильтрующий конденсатор C_ϕ сглаживает пульсации напряжения питания кольца E^* .

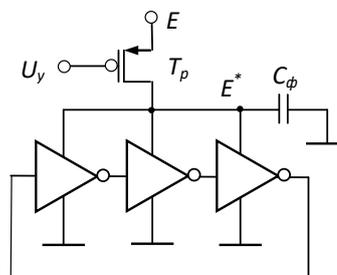


Рисунок 4 – Кольцевой генератор с управлением по питанию

Достоинство этого подхода заключается в относительно широком диапазоне перестройки частоты и очень высокой рабочей частоте, а недостаток – в том, что сигналы с меньшим размахом более подвержены

джиттеру. Еще одним недостатком является необходимость восстановления уровней логических сигналов до их полного размаха, требуемого для сопряжения с внешними устройствами, для этого на выходе КГ следует включать специальный буферный каскад.

Кроме того, как установлено экспериментальным путем [11], перестройку частоты в достаточно широком диапазоне можно осуществить, изменяя как напряжение питания, так и напряжения смещения подложек МОП транзисторов в инверторах. Схема генератора, конфигурация которой показана на ри-

сунке 5, состоит из нечетного числа каскадов (T_{p1}, T_{n1}), нагруженных на эквивалентные входные емкости инверторов (C_i). Объединенные подложки р-канальных транзисторов подключены к источнику напряжения смещения U_p , а подложки n-канальных транзисторов – к источнику U_n .

Как показано в цитированной работе, возможны варианты управления как воздействием на подложки транзисторов одного типа проводимости, так и совместным и сопряженным воздействием на подложки транзисторов обоих типов.

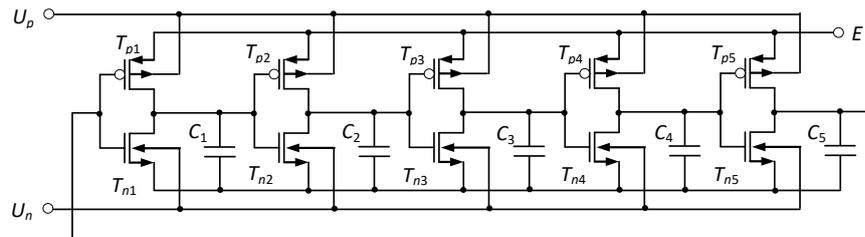


Рисунок 5 – Кольцевой генератор с управлением по питанию и смещению подложек транзисторов

Графики типичных зависимостей частоты f от напряжения питания E при разных сочетаниях смещения подложек, полученные при моделировании схемы, построенной по 0,18 мкм технологии КМОП, и показанные на рисунке 6 ($1 - U_p = 1,9 \text{ В}, U_n = -0,1 \text{ В}; 2 - U_p = 2,4 \text{ В}, U_n = -0,6 \text{ В}; 3 - U_p = 3,3 \text{ В}, U_n = -1,5 \text{ В}$) демонстрируют близкие к линейной модуляционные характеристики при перестройке частоты в несколько раз.

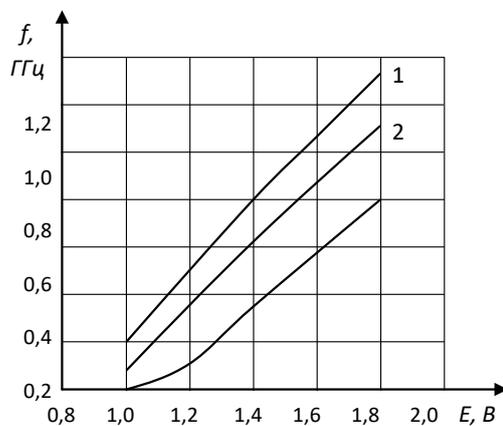


Рисунок 6 – Зависимость частоты от напряжения питания

Поскольку рабочий диапазон частот кольцевых генераторов напрямую связан с топологическими нормами КМОП процесса – при уменьшении размеров компонентов уменьшаются емкости приборов и межсоединений, то управляемые КГ для работы в высокочастотных системах связи обычно выполняются по субмикронным процессам, а в качестве элементов задержки применяются дифференциальные элементы. Кроме того, парафазные дифференциальные кольцевые генераторы гораздо менее подвержены шумам и сбоям в работе по сравнению с однофазными генераторами, причем в них достигается более высокие частоты колебаний. В дифференциальных кольцевых

генераторах фазовый шум можно сократить, увеличивая количество каскадов кольцевого генератора. На рисунке 7а показана трехкаскадная схема КГ [12], выполненная в виде цепи дифференциальных каскадов с общей положительной обратной связью по кольцу.

Схема дифференциального элемента задержки (рис. 7б) включает пару p-канальных транзисторов T_{p1} и T_{p2} в цепях стоковой нагрузки дифференциального каскада на n-канальных транзисторах T_{n1} и T_{n2} , работающих в области насыщения. Транзисторы T_{p1} и T_{p2} с каналами p-типа работают в режимах от глубокой триодной области до области насыщения, управляющее напряжение U_y между их затворами и истоками варьируется, чтобы получить желаемую выходную частоту колебаний. Транзистор T_{n3} – это транзистор с n-каналом, работающий в области насыщения, он выполняет функцию источника постоянного тока смещения дифференциального каскада, величина которого определяется напряжением смещения U_{cm} . Поскольку транзисторы нагрузки T_{p1} и T_{p2} работают в триодной области, то каждый из них может рассматриваться как переменный резистор, управляемый напряжением U_y . Когда U_y возрастает, сопротивление каналов транзисторов T_{p1} и T_{p2} увеличивается, что приводит к увеличению выходной постоянной времени элемента и соответствующему понижению частоты колебаний генератора.

Частота генерируемых импульсов определяется уравнением $f=1/2Nt_D$, в котором время задержки одного каскада оценивается как

$$t_D \cong \frac{C_H}{\mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) (E - U_y - U_t)},$$

где: C_H – емкость нагрузки каскада; C_{ox} – оксидная емкость затвора на единицу площади; μ_p – эффективная подвижность носителей заряда; W/L – ширина и длина канала транзистора T_{p1} (T_{p2}), U_t – его пороговое напряжение; E и U_y – напряжения питания и управления. Экспериментальное исследование дифференци-

ального КГ, выполненного по 50 нм технологии [12], при питании 1,2 В и изменении управляющего напряжения в пределах 0,5 ... 0,9 В показало, что частота колебаний изменяется в диапазоне от 11,6 до 0,8 ГГц, потребляемая мощность не превышает 79 мкВт.

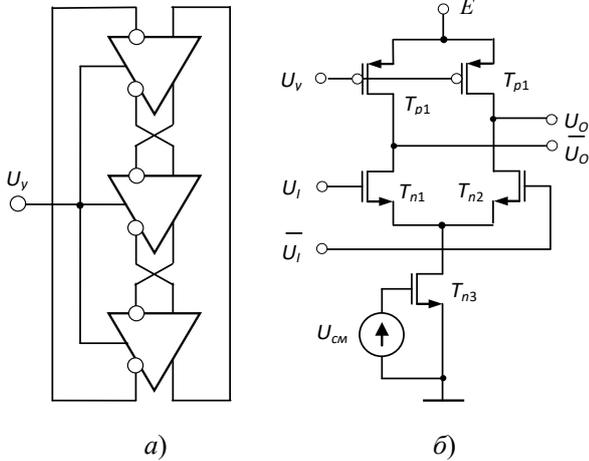


Рисунок 7 – Управляемый кольцевой генератор на дифференциальных каскадах

Дополнительные возможности регулирования частоты КГ предоставляет замена элементов задержки в его каскадах элементами фазовой интерполяции и организация в нем множественных контуров опережающей интерполяции (ФИ) [13 – 15]. Дополнительные обратные субсвязи в основном контуре КГ ускоряют или замедляют процесс продвижения сигнала по контуру в соответствии с индексами обратной связи. Основная идея управления частотой в многоконтурном генераторе состоит в образовании между двумя опорными колебаниями каждого элемента ФИ третьего выходного колебания, позицию которого внутри опорного интервала (ось интерполяции) можно изменять воздействием управляющего напряжения.

Примером схемы подобного КГ может служить схема, показанная на рисунке 8 [16, 17]. Каждый из составляющих схему нечетного числа инвертирующих каскадов представляет собой элемент ФИ, который упрощенно можно представить как двухходовой элемент задержки с взвешенным суммированием опорных колебаний X и Y . Условием образования интерполирующего колебания Z является перекрытие во времени фронтов опорных колебаний. Ось интерполяции, от которой отсчитывается задержка t_{D0} выходного колебания, располагается между фронтами опорных колебаний, ее положение зависит от управляющего напряжения U_y , в результате время задержки выходного сигнала будет

$$t_z = \alpha t_x + (1 - \alpha)t_y + t_{D0}, \quad (5)$$

где $\alpha = U_y / E \in 0..1$ – коэффициент управления, определяющий «веса» опорных сигналов, E – питающее напряжение, t_{D0} – время задержки базового инвертора в элементе ФИ. Элемент ФИ в упрощенном виде можно представить инвертором с потенциометром, определяющим «удельные веса» входных сигналов, фронтов (спадов) опорных сигналов.

Диапазон регулирования частоты зависит от количества каскадов генератора, границы диапазона соответствуют предельным значениям коэффициента управления $\alpha=0$ и $\alpha=1$. Характер модуляционной характеристики – зависимости частоты генерируемых колебаний от управляющего напряжения также зависит от числа каскадов схемы, монотонная характеристика получается, если число каскадов кратно трем. Если предположить линейность модуляционной характеристики, то ее можно представить как

$$f(\alpha) = \frac{1}{2[N_{\alpha=1} - (1 - \alpha)(N_{\alpha=1} - N_{\alpha=0})]t_{D0}}. \quad (6)$$

В показанной схеме количество каскадов равно девяти (рис. 8). При управляющем воздействии $\alpha=1$ в соответствии с (5) замкнуто основное кольцо генератора, состоящее из девяти элементов ФИ. Субсвязи, по существу, отсутствуют, поэтому частота равна

$$f_{\min} = 1/2N_{\alpha=1}t_{D0} = 1/18t_{D0}. \quad (7)$$

По мере уменьшения управляющего воздействия $\alpha \rightarrow 0$ и элемент ФИ осуществляет взвешенное суммирование своих опорных сигналов, при этом его задержка отсчитывается от оси интерполяции и сокращается. Частота импульсов возрастает и достигает максимума при $\alpha=0$, когда связи между каскадами по основному кольцу размыкаются, и образуются три формально независимых трехкаскадных генератора (на элементах 1, 4, 7, элементах 2, 5, 8 и элементах 3, 6, 9 соответственно), каждый из которых генерирует колебания с частотой $f_{\max} = 1/2N_{\alpha=0}t_{D0} = 1/6t_{D0}$. Таким образом, в схеме достигается трехкратный диапазон плавного регулирования частоты колебаний, что подтверждено моделированием устройства в среде *LTSpice4* [18].

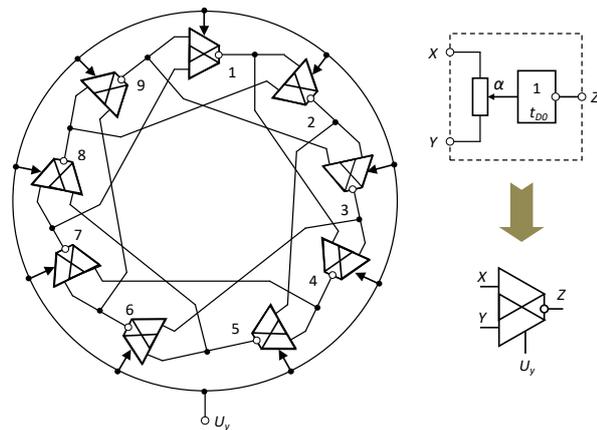


Рисунок 8 – Управляемый многосвязный КГ с опережающей ФИ

Заключение. Проведен анализ схемотехнических решений кольцевых генераторов импульсов с электронным аналоговым управлением частотой колебаний, пригодных для построения заказных интегральных схем. На основании обобщенного выражения частоты колебаний кольцевого КМОП генератора показаны способы управления частотой путем воздействия на цепи перезаряда емкостей нагрузки каскадов. Рассмотрены отдельные схемные решения, в том числе методы широкодиапазонного регулирова-

ния частоты способом обеднения тока КМОП инверторов. Представлены эффективные способы, базирующиеся на использовании двунаправленных ключей в межкаскадных связях генератора, на регулировании емкостей нагрузки каскадов, изменении питающих напряжений и напряжений смещения подложек МОП транзисторов, а также на замене инверторов элементами фазовой интерполяции в генераторах с множественными обратными связями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чулков, В.А. Управляемые кольцевые генераторы импульсов в технике синхронизации / В.А. Чулков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2017. – № 1(41). – С. 30 – 42.
2. Чулков, В.А. Кольцевые генераторы импульсов в цифровых преобразователях информации / В.А. Чулков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2019 – Том: 62, № 1 – С. 5 – 22.
3. Чулков, В.А. Интерполирующие устройства синхронизации и преобразователи информации. – М.: Физматлит. 2010. – 324 с.
4. Nayak, R. Low power ring oscillator for IoT applications / R. Nayak, I. Kianpoor, P.G. Bahubalindrani // Analog Integrated Circuits and Signal Processing. – November 2017 – Vol. 93(2). – P. 257 – 263.
5. Бугаев, М.М. Управляемые КМОП элементы задержки для интерполирующих преобразователей информации / М.М. Бугаев, В.А. Чулков // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. – 2010. – вып.5. – С. 130 – 140.
6. Gupta N. Voltage-Controlled Ring Oscillator for Low Phase Noise Application / Nisha Gupta // International Journal of Computer Applications. – January 2011. – Vol. 14, No. 5 – P. 23 – 27.
7. Hwang I.C., Kim C., Kang S.M. A CMOS Self-Regulating VCO with Low Supply Sensitivity. - IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.39, No.1, January 2004, pp.42-48.
8. Save, S. Performance Estimation of Voltage Controlled Ring Oscillator Designed For SOC Application / S. Save, B.K. Mishra // Procedia Computer Science. – December 2016. – Vol. 79. – P. 948 – 956.
9. R. Chebli, X. Zhao and M. Sawan. A Wide Tuning Range Voltage-Controlled Ring Oscillator dedicated to Ultrasound Transmitter / // Proceedings. The 16th International Conference on Microelectronics, 2004. ICM 2004. – P.
10. John A. McNeill, David S. Ricketts. The Designer's Guide to Jitter in Ring Oscillators. – Springer US. – 2008. – 276 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-0-387-76528-0%2F1.pdf> (дата обращения 7.04.2021).
11. Kumar, M. Low Power Voltage Controlled Ring Oscillator Design with Substrate Biasing / M. Kumar, S.K. Arya, S. Pandey // International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 2, No. 2, March 2012. – P. 156 – 159.
12. Singh, G. Design of Wide Tuning Range and Low Power Dissipation of VCRO in 50nm CMOS Technology / G. Singh, M.S. Angurana // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. – May 2014. – Vol. 3, Issue 5. – P. 9675 – 9679.
13. Sun, L. A Quadrature Output Voltage Controlled Ring Oscillator Based on Three-Stage Sub-feedback Loops / L. Sun, T. Kwasniewski, K. Iniewski // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – August 1999. – Vol. 2, 39(1). – P. 176 – 179.
14. Lee S.-J., Kim B., Lee K. A Novel High-Speed Ring Oscillator for Multiphase Clock Generation Using Negative Skewed Delay Scheme // IEEE journal of solid-state circuits, Vol. 32, No. 2, February 1997, P.289-291.
15. Sun L., Kwasniewski T. A. A 1.25-GHz 0.35- μ m Monolithic CMOS PLL Based on a Multiphase Ring Oscillator // IEEE journal of solid-state circuits, Vol. 36, No. 6, June 2001, P.910-916.
16. Управляемый кольцевой генератор импульсов. – Патент РФ №2546073 / Чулков В.А. – 2014112171/08; заявл. 28.03.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 9 с.
17. Чулков, В.А. Управляемый кольцевой генератор им-

пульсов / В.А. Чулков, С.А. Нестеренко // Известия вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 10. – С. 58 – 63.

Статья поступила в редакцию 28.06.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 004.514

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0002

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

©2021

Дали Фарид Абдулалиевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект 149, dalee@igps.ru)*

Аннотация. Рассматривается проблема качества графических пользовательских интерфейсов программных продуктов, для оценки которого пока не создано автоматизированных методов и программных средств. В статье анализируются критерии объективной оценки качества интерфейсов, такие как скорость работы оператора, количество ошибок, степень сохранения навыков оперирования, субъективная удовлетворённость. Обоснован формализованный подход к проведению такой оценки по скорости поиска информационно-функциональных объектов в социально-экономических системах управления, основанный на таких характеристиках, как время фиксации, время перемещения, объём оперативной памяти человека, зона ясного видения, путь информационного поиска. Предложена методика оценки скорости поиска, которая может быть реализована в виде компьютерного алгоритма и создания программного приложения как для автоматизированной количественной оценки отдельного интерфейса, так и для сравнения интерфейсов разных программ.

Ключевые слова: графический пользовательский интерфейс, программное обеспечение, информационный поиск, информационно-функциональные объекты, информационное поле, социально-экономические системы, методика.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF GRAPHIC USER INTERFACES OF SOCIO-ECONOMIC CONTROL SYSTEMS

©2021

Dali Farid Abdulalievich, candidate of technical sciences, associate professor, deputy head of the department fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems

*Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect 14, dalee@igps.ru)*

Abstract. This article discusses the problem of poor quality graphical user interfaces of various software products. The analysis showed that modern software has poor quality interfaces, and there are no programs for evaluating such interfaces at all. The article highlights and describes the characteristic features by which the quality of interfaces is assessed, such as the speed of the operator, the number of errors, the degree of retention of operating skills, subjective satisfaction. A formalized approach is proposed for such an assessment of the speed of searching for information-functional objects in socio-economic systems, based on such characteristics as the time of fixation of the gaze, the time of moving the gaze, the volume of a person's operative memory, the zone of clear vision, the path of information search for the gaze. An algorithm is proposed for assessing the speed of searching for information and functional objects in socio-economic systems, which can be used for implementation in a program code and further design on its basis of a software application that allows an automated assessment of both a separate interface and to compare the interfaces of different programs with each other.

Keywords: graphical user interface, software, information retrieval, information-functional objects, information field, socio-economic systems, methodology.

Введение. В современных условиях бурно развивающихся информационных технологий количество программных продуктов с каждым днём непрерывно растёт, стремясь покрыть все возможные информационно-функциональные потребности рядовых пользователей [1-4]. Расширяющийся функционал, внедрение новых подходов дает возможность получения необходимых результатов в кратчайшие сроки и с минимальными физическими и психологическими нагрузками. Как показывает практика использования программ и проведённые опросы целевых аудиторий, качество используемых продуктов не всегда позволяет пользователю решать, поставленные перед ним задачи [3, 4].

Причины негативных отзывов и внутреннего ког-

нитивного диссонанса, возникающего при работе с различными программными продуктами, зачастую кроются в низком качестве графических пользовательских интерфейсов (далее – ГПИ) [4, 5]. В то же время, одной из основных функций ГПИ как раз является решение задач и упрощение представления ими механизмов взаимодействия с программами [6-8].

Существующие на сегодня программные продукты, как специализированного профиля, так и общецелевого (офисного) назначения имеют ряд серьёзных недостатков, заключающихся в сложности обучения навыкам оперирования инструментарием программ, низкой скорости работы в среде, постоянных сбоях и ошибках в системах. Также на низком уровне остаётся и такой показатель, как субъективная удовлетворён-

ность пользователей. Это приводит к повышению когнитивной и психологической нагрузок на оператора и возникновению внутреннего когнитивного сопротивления [3-7].

Материалы и методы исследований. Для устранения перечисленных недостатков и повышения уровня качества ГПИ необходимо в первую очередь иметь возможность сравнивать интерфейсы как между собой, так и с неким эталоном. [2, 5, 9]. Данную задачу решает разработанная авторская методика, основанная на оценке времени, затраченного пользователем на поиск информационно-функциональных объектов (далее – ИФО).

Рассматриваемые параметры использовались для создания методики оценки ГПИ с позиций скорости информационного поиска, которая состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Сегментация анализируемой области ГПИ на прямоугольные зоны размером, не превышающим «зону ясного видения», что составляет $400px$ по горизонтали и $240px$ по вертикали при расстоянии пользователя от монитора 650 мм [10-15].

Шаг 2. Вычисление общего количества объектов N отдельно в каждом выделенном сегменте. Если объект находится в нескольких сегментах, то он принадлежит тому сегменту, в пределах которого располагается его большая площадь.

Шаг 3. Вычисление количества объектов, обладающих заданным для поиска признаком M , отдельно в каждом сегменте. Если объект находится в нескольких сегментах, то он принадлежит тому сегменту, в пределах которого располагается его большая площадь.

Шаг 4. Выбор величины t_{fi} из справочных материалов [2] в зависимости от свойств искомого объекта.

Шаг 5. Выбор параметра объема зрительного восприятия a . Минимальным является величина $a = 4$, так как экспериментально данное количество элементов может запомнить в оперативной памяти любой пользователь [3,4]. Данный показатель можно менять в диапазоне от 4 до 6 в зависимости от разработанных моделей пользователей.

Шаг 6. Расчёт сложности информационного поиска для каждого сегмента согласно формуле (1) и свойствам искомого объекта. Полученные результаты позволяют сравнить сегменты ГПИ между собой.

Результаты исследования. В качестве демонстраций работоспособности алгоритма были проанализированы два сегмента программы *Microsoft Office Word* на предмет сложности информационного поиска кнопкой «форматирования текста».

Составим таблицу значений параметров, необходимых для вычисления сложности информационного поиска, со следующими ограничениями (табл. 1):

- вложенность элементов при проведении расчётов не учитывается;
- потенциальные объекты для анализа выделены зелёными прямоугольниками;
- параметр a примем равным 4;
- так как искомым объектом является параметр, то

примем экспериментальную величину $t_{fi}=200ms$ [2].

Таблица 1 - Параметры для вычисления сложности информационного поиска в областях 1 и 2.

	area 1	area 2
N	25	22
a	4	4
t_{fi}	200	200
M	9	17

Произведём вычисления по формуле:

$$T_{is(1)} = \frac{\frac{N}{a} + 1}{M + 1} * t_{fi} = \frac{\frac{25}{4} + 1}{9 + 1} * 200 = 145 \quad (1)$$

$$T_{is(2)} = \frac{\frac{N}{a} + 1}{M + 1} * t_{fi} = \frac{\frac{22}{4} + 1}{17 + 1} * 200 = 76,47$$

Из проведённых вычислений следует, что информационный поиск заданных объектов во второй области будет в 2 раза быстрее, чем в первой.

При проведении оценки сложности информационного поиска определённого объекта по всей площади ГПИ, разработанный алгоритм дополняется следующими шагами.

Шаг 7. После выполнения шага 6 происходит поиск искомого объекта в одном из сформированных сегментов. Последовательность обхода каждого сегмента определяет путь.

Шаг 8. Так как искомым объектом может находиться практически в любом сегменте (за исключением рабочей области, которая игнорируется при вычислениях), сложность итогового информационного поиска определяется суммой информационного поиска каждого пройденного сегмента по F -образному пути:

$$T_{iss(j)} = \left(\frac{\frac{N_1+1}{a} * t_{fi_1}}{M_1+1} \right) + \left(\frac{\frac{N_2+1}{a} * t_{fi_2}}{M_2+1} \right) + \dots + \left(\frac{\frac{N_j+1}{a} * t_{fi_j}}{M_j+1} \right) \quad (2)$$

На основе разработанного алгоритма планируется создание программного продукта, автоматически вычисляющего сложность информационного поиска как группы объектов, так и определённого объекта.

Программный алгоритм приложения состоит из следующих шагов:

- 1) получение графического разрешения ГПИ открытого на «рабочем столе» ЭВМ;
- 2) сегментация ГПИ в зависимости от полученного разрешения на зоны размером $400x240px$;
- 3) поиск выбранного оператором объекта, включающий:
 - а) выбор объекта поиска (кнопка, чекбокс, радиальная кнопка, выпадающий список, поле ввода и т.д.);
 - б) выбор параметра a (в соответствии с разработанной целевой моделью пользователя);
 - 4) представление оператору результатов вычислений согласно формуле (2) в числовом виде;
 - 5) представление оператору результатов вычислений в графическом виде, где каждому сегменту присваивается один из трёх цветов (допустимая зона (зелёный) – *green*, зона средней информационной загрузки (синий – *blue*), информационно перегруженная зона (оранжевый – *orange*)) в соответствии с ограничениями объема зрительного восприятия человека;

$$\begin{cases} \text{if } M \leq 4 \rightarrow S_i \in \text{background: green} \\ \text{if } 4 < M \leq 6 \rightarrow S_i \in \text{background: blue} \\ \text{if } 6 < M \rightarrow S_i \in \text{background: orange} \end{cases} \quad (3)$$

Разработанная методика в программном продукте может быть реализована двумя способами. Первый заключается в использовании возможностей машинного зрения, второй реализуется посредством обращения к элементам программы через код.

Реализация первого подхода будет легче, так как в настоящее время имеются готовые библиотеки распознавания объектов, такие как *OpenCV* [16-18], но возникает проблема со сложностью распознавания форм объектов, так как современные интерфейсы уже не используют четко выделенные ограничения информационно-функциональных объектов. Всё чаще встречаются символы или иконки, границы которых возникают только после наведения на них курсора [19]. В этом плане более практичным и точным будет второй подход с непосредственным обращением к информационно-функциональным объектам ГПИ на уровне кода.

Из доступных программных продуктов оценки ГПИ в настоящее время имеются только сервисы, использующие алгоритмы «тепловых карт». Данные программы могут быть применены только для оценки ГПИ *web*-сайтов, так как имеют ограниченный функционал и возможности анализа, позволяя находить только некоторые проблемные области ГПИ.

Заключение. Сегодня разработка пользовательских моделей является неотъемлемой частью современного интерфейса. Предлагаемая методика дает возможность внедрения моделей пользователей в зависимости от характеристик целевой аудитории, например, с учетом объема оперативной памяти, области четкого зрения, последовательности анализа.

Внедрение предложенной методики и разработка на ее основе алгоритма и программного продукта позволит проводить оценку ГПИ, а также сравнивать ГПИ программных продуктов между собой по сложности информационного поиска. Кроме того, появится возможность делать предположения о качестве интерфейса в аспектах сложности визуального восприятия, субъективной удовлетворенности, сложности обучения навыкам оперирования инструментами программ, скорости работы в программе.

Реализацию программного продукта планируется осуществить обладающим большей точностью вторым способом с использованием непосредственного обращения к информационно-функциональным объектам в социально-экономических системах управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Головач В. Дизайн пользовательского интерфейса. *Usethics*, 2005. – С. 97.
2. Алефиренко В. М., Шамгин Ю. В. Инженерная психология. Практикум. Минск, 2005. – С. 37.
3. Weinschenk S. 100 things every designer needs to know about people. New Riders, 2011. – С. 272.
4. Weinschenk S. 100 more things every designer needs to know about people. New Riders, 2016. – С. 278.

5. Blyzniuk M., Lobur M., Panchak T. Graphical user interface of fiesta - software for faults identification and estimation of testability of VLSI circuits // *Proceedings of the symposium on contemporary computing in Ukraine, CCU 2015*. pp. 127-136.

6. Acharya S., Pandey A., Mishra S.K., Chaube U.C. GIS based graphical user interface for irrigation management // *Water Science and Technology: Water Supply*. – 2016. – Т. 16. – № 6. – С. 1536-1551.

7. Sharipbay A., Barlybayev A., Sabyrov T. Measure the usability of graphical user interface // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2016. – Т. 444. – С. 1037-1045.

8. Aggarwal D., Shingala A. Design and development of user friendly interface environment for accelerating scientific research process: a case study for nuclear fusion applications // *Proceedings of the 7th International Conference on Computing for Sustainable Global Development, INDIACOM 2020*. 7. – 2020. – С. 102-107.

9. Джеф Р. Интерфейс Новые направления в проектировании компьютерных систем. Символ. Санкт-Петербург-Москва, 2007. – С. 257.

10. ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. М.: Стандартинформ, 2008. – С. 18.

11. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2008. – С. 16.

12. Нильсен Я. Веб-дизайн. Символ-Плюс. Санкт-Петербург. – 2010. – С. 497.

13. Viola P., Jones M.: Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. -Kauai, Hawaii, USA. 2015- vol. 1 pp. 511-518.

14. Shneiderman B., Plaisant C., *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer*, 5th Edition, 2010. 624 pp.

15. Жарко Е. С. Сравнение моделей качества программного обеспечения: аналитический подход. 8 Всероссийская конференция по проблемам управления ВГПУ. 2014. С. 154-167

16. Gonzalez, R. *Digital image processing*. M: Technosphere, 2005 pp. 1007.

17. Maxwell, J. *Digital image processing: Mathematical and Computational Methods*. – 2012 – pp. 311.

18. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Машиностроение, 1982. – С. 368.

19. Richtel, M. Only a Few Can Multitask. *Business innovation technology society*. 30 march, (2015) – pp. 122.

Статья поступила в редакцию 26.05.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 621.31

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0003

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

© 2021

Казымов Иван Максимович, аспирант кафедры «Электрификация производства и быта»

Компанец Борис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта»

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

(656038, Россия, г. Барнаул, проспект Ленина, 46, e-mails: bahek1995@mail.ru, kompbs@mail.ru)

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы передачи и обработки информации в системе контроля параметров электроэнергии в распределительной сети, а также принятия решений на основании мгновенных и статистических данных о состоянии системы электроснабжения. Проведён анализ достигнутого уровня технологий в данной области как в Российской Федерации, так и за рубежом. Дана оценка существующей на сегодняшний день парадигме восприятия процессов в электрических сетях в разрезе цифровизации и применения современных технологий для анализа и контроля систем электроснабжения. Подробно рассмотрены факторы риска для электрических сетей и систем, а также приведены пути их устранения за счёт проведения цифровизации электрических сетей и, в частности, применения системы контроля параметров электроэнергии. Указаны особенности и отличия передачи и обработки информации в системе контроля параметров электроэнергии, предложена оригинальная пакетная компоновка информации для передачи посредством любого из доступных средств связи. Рассмотрены различные варианты обработки и анализа данных, поступающих с конечных измерительных устройств, дана оценка и рекомендации по применению получаемой информации. На примере показана поддержка принятия решений на основании полученных системой контроля параметров электроэнергии данных. Даны рекомендации по принятию решений и дальнейшему совершенствованию системы.

Ключевые слова: электрическая сеть, АИИС КУЭ, потери электроэнергии, коммерческие потери, алгоритм принятия решений, автоматизированный комплекс, обработка информации, программно-аппаратный комплекс, системы электроснабжения.

DATA PROCESSING AND MAKING DECISIONS IN THE SYSTEM FOR CONTROL OF ELECTRIC ENERGY PARAMETERS IN THE DISTRIBUTION NETWORK

© 2021

Kazymov Ivan Maksimovich, postgraduate at the department of «Electrification of production and life»

Kompaneets Boris Sergeevich, candidate of technical sciences, associate Professor
associate professor at the department of «Electrification of production and life»,

Altai State Technical University named I. I. Polzunov

(656038, Russia, Barnaul, Lenin Ave, 46, e-mails: bahek1995@mail.ru, kompbs@mail.ru)

Abstract. The article discusses the issues of transmission and processing of information in the control system of electricity parameters in the distribution network, as well as decision-making based on instantaneous and statistical data on the state of the power supply system. The analysis of the achieved level of technologies in this area both in the Russian Federation and abroad is carried out. An assessment of the current paradigm of perception of processes in electrical networks in the context of digitalization and the use of modern technologies for the analysis and control of power supply systems is given. Risk factors for electric grids and systems are considered in detail and ways of their elimination by means of digitalization of electric grids and, in particular, the use of a control system for electric power parameters are given. The features and differences of the transmission and processing of information in the system for controlling the parameters of electricity are indicated, an original package layout of information for transmission by any of the available communication means is proposed. Various options for processing and analyzing data coming from end measuring devices are considered, an assessment and recommendations on the use of the information obtained are given. The example shows decision-making support based on the data obtained by the power control system. Recommendations for making decisions and further improving the system are given.

Keywords: electrical network, automated information and control system of power consumption, electricity losses, commercial losses, decision-making algorithm, automated complex, information processing, software and hardware complex, power supply systems.

Введение. На данный момент задача цифровизации электрических сетей является приоритетной задачей как для Российской Федерации [1-3], так и для большинства компаний электросетевого комплекса [4]. Внедрение автоматизированных цифровых систем управления электрическими сетями позволит

повысить эффективность мероприятий по снижению потерь и напрямую снизить издержки электросетевых компаний, что, несомненно, улучшит финансовые показатели. Задачи цифровизации электроэнергетики и ежегодному снижению потерь поставлены в стратегиях развития таких организаций как ПАО «Россети»,

ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «Интер РАО». Стоит отметить, что на сегодняшний день потери электрической энергии в распределительных сетях Российской Федерации значительно превышают таковые в странах Европейского союза. Данный факт объясняется как объективными причинами, такими как значительно большей чем в Европе протяжённостью линий электропередачи и рассредоточением нагрузок по большей территории, так и факторами, вызванными различными техническими и организационными недостатками [5, 6]. При этом сети низкого и среднего уровня напряжения (0,4 – 10 кВ) являются самыми распространёнными на территории Российской Федерации, если судить по общей протяжённости линий электропередачи данных классов напряжений, и, в то же время, наиболее ёмкими в отношении потерь электрической энергии. На данных классах напряжений, помимо технологически неизбежных потерь, удельное значение которых (отношение полезной принятой мощности к общей отданной мощности) само по себе значительно выше аналогичных показателей в сетях более высокого класса напряжения за счёт ряда факторов, существуют также и коммерческие потери, обусловленные как организационными и метрологическими причинами, так и фактором несанкционированного вмешательства в технологическую структуру распределительной сети, порождающего безучётное и бездоговорное потребление электрической энергии.

В ведущих компаниях электросетевого комплекса Российской Федерации (ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «Интер РАО») работа по снижению потерь электрической энергии ведётся постоянно, однако усилия в основном направлены на снижение коммерческих потерь в электрических сетях путём выявления безучётных и бездоговорных потребителей электрической энергии. Ввиду постоянного совершенствования приемов хищения электроэнергии, способы обнаружения хищений не успевают отслеживать их, и на данный момент недостаточно неэффективны.

Для создания цифрового двойника сети могут быть использованы различные устройства, способные определять параметры электрической энергии в точке подключения. Однако на данный момент единственными цифровыми устройствами в электрических сетях низкого и среднего напряжений, способными удалённо передавать информацию о параметрах электрической энергии в сети, остаются приборы учёта электрической энергии, используемые для коммерческого учёта электроэнергии с использованием автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии (далее – АИИС КУЭ). Известны предложения о составе и характере устройств контроля сетей [7], однако список параметров, которые должны контролировать подобные устройства для создания полноценного «цифрового двойника» электрической сети, является достаточно обширным и содержит:

- ток в контролируемой линии;
- напряжение в месте присоединения;

- потребляемая мощность;
- коэффициент мощности нагрузки контролируемой линии;
- потреблённая электрическая энергия за произвольный период времени.

Очевидно, что информация об электрических величинах должна быть отображать и их мгновенные значения, и статистические показатели. Основную сложность в построении подобных приборов составляет выбор технического решения по определению коэффициента мощности нагрузки. Данная проблема обусловлена в основном дискретным характером данных о мгновенных величинах тока и напряжения, и, в том числе, нелинейными искажениями напряжения. Точное определение коэффициента мощности как для каждой нагрузки в частности, так и для электрической сети в целом является одним из важнейших этапов создания цифрового двойника, а также основой разработки эффективных мер по приведению коэффициента мощности в целом по сети к нормативным значениям. Для электрических сетей это особенно актуально ввиду низкого дневного значения коэффициента мощности (для большинства сельскохозяйственных нагрузок 0,70 – 0,75) [8].

Безучётное и бездоговорное потребление электроэнергии обуславливают риск нарушения электроснабжения конечных потребителей, причём как собственно неучтённых, так и добросовестных потребителей. При самовольном подключении к сети частных лиц могут ухудшаться качество электроэнергии и даже возникать технологические нарушения как в момент вмешательства в распределительную сеть, так и в процессе безучётного потребления электрической энергии. Именно поэтому своевременность обнаружения и ликвидации несанкционированных подключений к распределительным электрическим сетям является важным звеном в цепочке мероприятий по реализации сразу нескольких задач-процессов, стоящих перед каждой электросетевой организацией, осуществляющей свою деятельность в классах напряжения 0,4 кВ и 0,6 кВ, таких как:

- контроль качества отпускаемой потребителям электрической энергии;
- систематическое снижение потерь в воздушных и кабельных линиях электропередач;
- снижение убытков от последствий безучётного и бездоговорного потребления (как прямых – за счёт отсутствия оплаты за потреблённую электрическую энергию, так и косвенных – за счёт возникновения дополнительных рисков нарушения электроснабжения и возросших технических потерь);
- повышение надёжности и безопасности электроснабжения.

Приоритет использования вычислительной техники, программного обеспечения, а также информационных технологий для достижения поставленных в данной работе целей соответствует ядру пятого и шестого технологического уклада.

Вопросы цифровизации электрических сетей и

создания эффективных систем по управлению параметрами электрической энергии подробно рассматриваются как в исследованиях крупных компаний энергетического сектора, таких как «Россети» [9], так и в трудах российских учёных [10, 11]. Большинство авторов исследует различные зависимости, связывающие технические потери в электрических сетях с конструктивными и эксплуатационными факторами [12]. Большое число работ посвящено созданию математических моделей процессов, происходящих в электрических сетях. Немало внимания в русскоязычных трудах уделяется и коммерческим потерям [13, 14]. В настоящее время подробно освещены все способы организации неучтённого потребления электроэнергии. Предлагаются всё более совершенные методики и алгоритмы по управлению системами электроснабжения [15, 16]. Уделяется большое внимание проблеме трудоёмкости традиционных способов определения коммерческих потерь, однако предлагаемые методы отличаются либо высокой стоимостью, либо повышенными трудозатратами и не могут считаться достаточно эффективными на сегодняшний день.

Исследований и разработок, направленных на создание простых и эффективных систем определения и борьбы с коммерческими потерями, проводится недостаточно. Отсутствуют труды, в которых решается задача организации удалённого контроля величины и равномерности технологически неизбежных потерь. В настоящее время ощущается острый дефицит технологичных эффективных решений по контролю потерь в электрических сетях. Такая ситуация провоцирует развитие всё новых способов скрытого несанкционированного подключения к электрическим сетям и безучётного потребления электрической энергии, что характеризует данное направление исследования как актуальное.

Среди зарубежных исследований выделяются работы *Viegas J. L.* [17], *Henriques H.O.* [18], *Rossoni A.* [19], представляющих результаты своих исследований в таких журналах, как *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. В зарубежной литературе также принято разделять потери в электрических сетях на технические (*technical*) и нетехнические (*non-technical*), в качестве основного источника издержек рассматриваются потери, обусловленные технологическим процессом передачи электрической энергии [20]. Опыт зарубежных исследователей показал, что эффективным механизмом для анализа систем электроснабжения является применение инструментов нечёткой логики [21-23]. Широко рассмотрены различные алгоритмы по определению нетехнических потерь в сетях различных классов напряжений [24]. Также опубликованы работы, в которых подробно рассмотрено применение интеллектуальных приборов учёта (*smart electricity meters*) в составе различных информационно-измерительных систем (в том числе аналоги АИИС КУЭ) [25, 26].

Проведённый анализ зарубежных публикаций

показал, что не уделяется достаточного внимания методам обработки информации и построению эффективных информационно-измерительных систем по идентификации технических и нетехнических (коммерческих) видов потерь. Не описываются закономерности, связывающие эти два вида потерь в реальных сетях и оказывающие серьёзное влияние на картину распределения электрической энергии, что говорит о недостаточной проработанности проблемы.

Система контроля параметров электрической энергии в распределительной сети подробно описана в статье [27]. В данной системе разработаны конечные устройства сбора и передачи данных [28], показан пример организации такой системы, разработаны алгоритмы проведения расчётов и получения результатов анализа рассматриваемых электрических сетей. Однако остался нераскрытым принцип обработки информации и принятия решений на основании полученных данных.

Целью работы является разработка алгоритмов обработки информации и принятия решений в системе контроля параметров электрической энергии в распределительной сети.

Материалы и результаты исследования. Наиболее важным аспектом любой информационно-измерительной системы является принцип организации связи между устройствами сбора и передачи информации и центральным устройством. Очевидно, что для значительного количества однотипных устройств в сети должна быть организована система связи между каждым прибором и центральным обрабатывающим компьютером (сервером), причём всякий обмен информацией должен осуществляться по инициативе сервера. Исключение составляет лишь процесс передачи основной информации, который должен производиться по расписанию для одновременной передачи показаний приборов.

Остальные взаимодействия можно разделить на несколько типов:

- настройка, калибровка прибора (в допустимых пределах);
- синхронизация по времени;
- запрос на архивные данные;
- внеочередной запрос на передачу показаний;
- диагностика прибора.

Учитывая то, что приборы не взаимодействуют между собой, складывается строго иерархическая система, в которой каждому прибору присваивается адрес, по которому в любое время может обратиться центральный обрабатывающий компьютер.

Иерархическая структура разработанной системы показана на рисунке 1, где n – общее число приборов в сети. Вопрос выбора числа приборов в сети был подробно рассмотрен в [29]. Стрелками на рисунке показаны направления передачи информации. Расположение стрелки, направленной от центрального компьютера к прибору слева подразумевает первичность запроса, исходящего от центрального компьютера. По установленному расписанию каждый прибор

посылает информацию, содержащую показания всех подключённых датчиков и время, в которое эти показания были актуальны, с точностью до десятых долей секунды.

Для упрощения взаимодействия данные приходят пакетом в едином формате, задаваемом центральным обрабатывающим компьютером.

Для стандартной компоновки системы пакет передаваемых данных будет иметь вид цепочки значений. Пример такого пакета показан на рисунке 2. Контрольный пакет служит для подтверждения отсутствия искажений в переданном пакете данных. Обработка поступающей информации производится следующим образом:

– установление факта целостности пакета данных (используется поле «Контрольный пакет»);

– определение прибора, откуда передаётся информация (используется значение поля «Номер прибора»);

– определение времени снятия показаний (используется значение поля «Время, на которое показания актуальны»);

– разделение и разнесение по соответствующим местам хранения значений основных параметров, а именно: ток, напряжение, мощность, коэффициент мощности (используется поле «Значение тока, напряжения, коэффициента мощности и т.д.»);

– разделение и разнесение по соответствующим местам хранения значений дополнительных параметров, а именно: температура, влажность в месте установки, а также другие измеряемые величины (используется поле «Значения дополнительных параметров»).

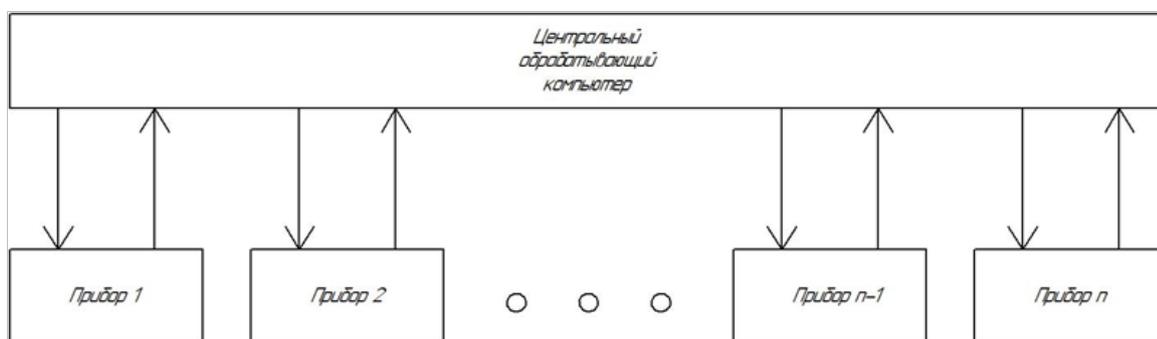


Рисунок 1 – Иерархическая структура системы контроля параметров электрической сети

Номер прибора	Время, на которое показания актуальны	Значения тока, напряжения, коэффициента мощности и т.д.	Значения дополнительных параметров	Контрольный пакет
---------------	---------------------------------------	---	------------------------------------	-------------------

Рисунок 2 – Пример пакета передаваемых данных

Наиболее эффективным вариантом обработки полученных данных будет являться их запись в специализированный программный комплекс, в котором эти данные будут добавлены в базу данных к другим статистическим данным, при этом будут обновлены графики различных величин, пересчитаны диагностические и другие прогнозы. При несовпадении данных о времени (несоблюдении одновременности снятия показаний) полученные пакеты данных уничтожаются как не имеющие смысла. Также предусматривается возможность анализировать полученные данные вручную в рамках проведения различных экспериментов, в ходе которых проверяются разработанные теоретические положения и методики анализа электрических сетей. При таком эксперименте заранее должны быть известны параметры сети во избежание получения неверных результатов и выводов.

Обработка информации, поступающей от конечных приборов сбора и передачи информации, осуществляется центральным обрабатывающим компьютером, который выполняет расчёт небаланса токов и мощностей в сети, на основании чего устанавливается факт наличия в сети коммерческих или повышенных технических потерь, а также локализируются места воз-

никновения потерь.

Принятие решений по результатам работы системы контроля параметров электрической энергии в распределительной сети осуществляется на основании получаемых данных, как о мгновенных, так и о статистических параметрах. Принятие решений о применении организационных и технических мер по противодействию потерям электрической энергии производится на основании мгновенных данных об объёме и месте возникновения потерь. В свою очередь, принятие решений о применении кардинальных мер по снижению потерь, а также включении той или иной системы электроснабжения в план ремонта и/или инвестиционную программу реконструкции строится на основании статистической информации и факторного анализа получаемых в течение длительного времени (от трёх лет) данных о состоянии рассматриваемой электрической сети. В таком случае могут быть обоснованы и выполнены конструктивные изменения, позволяющие снизить величину потерь в системе электроснабжения.

Пример порядка принятия решения на основании мгновенных и статистических данных приведён на рисунке 3.

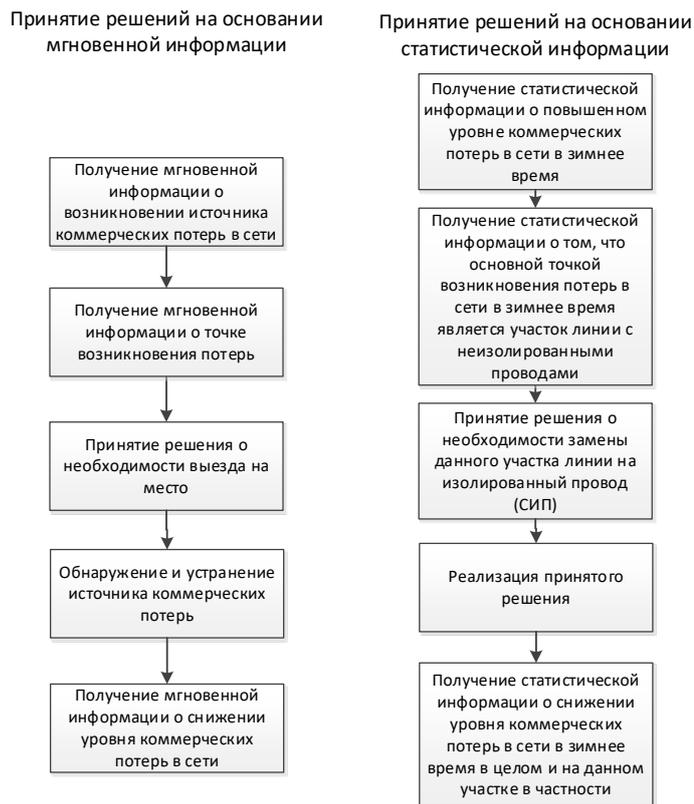


Рисунок 3 – Порядок принятия решения на основании мгновенных и статистических данных

Заключение. В настоящем исследовании были разработаны методика обработки информации и порядок принятия решений в системе контроля параметров электрической энергии в распределительной сети, на примере показана эффективность применения указанных алгоритмов.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы в основной деятельности электросетевых компаний и промышленных предприятий, а также в учебном процессе образовательных учреждений. В качестве перспективных задач дальнейших изысканий по данному направлению следует отметить следующее:

- разработка системы поддержки принятия решений на основании экспертных оценок и самообучающихся алгоритмов;
- расширение функционала обработки информации и принятия решений в системе контроля параметров электрической энергии в распределительной сети для создания дополнительных возможностей по анализу и управлению системами электроснабжения;
- разработка алгоритмов управления спросом на электрическую энергию в контролируемых системах электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года". – 19 с.
2. Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации [Текст]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2013 г. № 511-р в редакции от 18.07.2015 г. №1399-р.

3. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н.Д. Рогалева. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 300 с.

4. Концепция «Цифровая трансформация 2030» [Текст]: Концепция ПАО «Россети». – 2018. – 31 с.

5. В распределительных сетях Сибири за год выявлено почти 10 тысяч хищений электроэнергии на полмиллиарда рублей [Электронный ресурс] // Россети Сибирь / – URL: https://rosseti-sib.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=19682:v-raspredelitelnykh-setyakh-sibiri-za-god-vyyavleno-pochti-10-tysyach-khishchenij-elektroenergii-na-polmiliarda-rublej-20200123-154844&catid=1111:40-novosti&lang=ru40 (дата обращения: 05.07.21).

6. Россети Сибирь продолжает снижать потери электроэнергии [Электронный ресурс] // Россети Сибирь / – URL: https://rosseti-sib.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=20397:rosseti-sibir-prodolzhaet-snizhat-poteri-elektroenergii-20200908-152523&catid=1111:40-novosti&lang=ru40 (дата обращения: 05.07.21).

7. Kazymov I. Definition of fact and place of losses in low voltage electric networks / I. Kazymov, B. Kompaneets // 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING, APPLICATIONS AND MANUFACTURING, ICIEAM 2019 – Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

8. РД 34.20.178-82. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38 - 110 кВ сельскохозяйственного назначения. – 1982. – С. 108.

9. Главные инженеры электросетевых компаний обсудили вопросы цифровизации электрических сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. – М.: Издательство Кабель, 2018. № 6 (51) – С. 12-15.

10. Козлов, А. В. Методика формирования цифровых моделей схем электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / А. В. Козлов, А. Ю. Виноградов // ИЗВЕСТИЯ НТЦ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ / Научно-технический центр Единой энергетической системы Противоаварийное управление (Санкт-Петербург) – Санкт-Петербург, 2019. – Вып. 60. – С. 105-116.

11. Петухов, К. Ю. В сетях с низким уровнем потерь высокая надёжность [Текст] / К. Ю. Петухов // Российские сети.

– 2017. – № 2. – С. 4.

12. Попов Ю. П. Проблемы потребления реактивной мощности коммунально-бытовой нагрузкой [Текст] / Ю. П. Попов, Л. С. Синенко // Вестник красноярского государственного аграрного университета / Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2012. – №11. – С. 167-171.

13. Иванов, А. Г. Финансовые потери потребителей в связи с низким качеством электроэнергии [Текст] / А. Г. Иванов, В. Н. Соколова // Science Time. – 2014. – №11. – С. 113-115.

14. Белый, В. Б. Модель процессов потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором в сельских электрических сетях [Текст]: / В. Б. Белый // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. Материалы XVII международной научно-практической конференции / Алтайский государственный аграрный университет. – 2019. – С. 42-45.

15. Цыгулев, Н. И. Цифровизация электрических сетей АПК на платформе интернета энергии [Текст] / Н. И. Цыгулев, В. К. Хлебников, В. А. Шелест, В. В. Теребаев, Л. В. Бабина, Е. Я. Зубкова, В. А. Михайличенко // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ. 2019. Материалы национальной научно-практической конференции. 2019 / Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону). – 2019. – С. 327-328.

16. Тиньгаев, А. В. Оптимизация протяжённости линий электропередач при подключении сельскохозяйственных потребителей с использованием WEB-технологий [Текст] / А. В. Тиньгаев, А. А. Шевченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета / Алтайский государственный аграрный университет. – 2018. – №4. – С. 186-191.

17. Viegas J.L. Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review / J. L. Viegas, P. R. Esteves, R. Melício, V. M. F. Mendes, S. M. Vieira // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – vol. 80. – P. 1256-1268.

18. Henriques H.O. Use of smart grids to monitor technical losses to improve non-technical losses estimation / H. O. Henriques, M. R. L. S. Correa // 7th Brazilian Electrical Systems Symposium. – 2018. – P. 1-6.

19. Rossoni A. Contribution to distribution systems technical and nontechnical losses estimation using WLS state estimator / A. Rossoni, S. H. Braunstein, R. D. Trevizan, A. S. Bretas, N. G. Bretas // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2018. – P. 1-5.

20. Ibrahim K. A. System wide MV distribution network technical losses estimation based on reference feeder and energy flow model / K. A. Ibrahim, M. T. Au, C. K. Gan, J. H. Tang // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2017. – vol. 93. – P. 440-450.

21. Glauner P. Large-scale detection of non-technical losses in imbalanced data sets / P. Glauner, A. Boechat, L. Dolberg, (...), Y. Rangoni, D. Duarte // IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT. – 2016.

22. Kochneva E. Impact of technical losses calculation method on bad data validation on the basis of a posteriori analysis / E. Kochneva, A. Sukalo // IEEE International Energy Conference, ENERGYCON. – 2016.

23. Trevizan R.D Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation / R. D. Trevizan, A. Rossoni, A. S. Bretas, (...), A. Carniato, L. F. D. N. Passos // IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech. – 2015.

24. Huang S. C. Non-technical loss detection using state estimation and analysis of variance / S. C. Huang, Y. L. Lo, C. N. Lu // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – vol. 28, is. 3. – P. 2959-2966.

25. Ahmad T. Non-technical loss analysis and prevention using smart meters / T. Ahmad // Renewable and Sustainable Energy Reviews – 2017. – vol. 72. – P. 573-589.

26. Chatterjee S. Detection of non-technical losses using advanced metering infrastructure and deep recurrent neural networks / S. Chatterjee, V. Archana, K. Suresh, (...), R. Gupta, F. Doshi // 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe. – 2017.

27. Казымов И. М., Компанец Б. С., Дробязко О. Н. Разработка системы контроля параметров электрической энергии в распределительной сети // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 106–118. DOI: 10.17816/

transsys202172106-118.

28. Патент РФ на изобретение №2748936. Прибор контроля потребления электрической энергии в сети низкого напряжения. МПК МПК G01R 21/133 (2006.01); G01R 22/10 (2006.01). / Казымов И. М., Компанец Б. С (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2020127771; заявл. 18.08.2021; опубл. 01.06.2021, бюл. №16.

29. Казымов И. М., Компанец Б. С. Методика определения требуемого числа устройств сбора и передачи информации для создания цифрового представления распределительной электрической сети низкого и среднего уровня напряжений // Вестник НИИЭИ. 2021. № 1 (116). С. 41–53. DOI: 10.24411/2227-9407-2021-10004.

Статья поступила в редакцию 04.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 681.518+621.38

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0004

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МАТЕРИАЛОВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ

© 2021

Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник «Центра сопровождения научных исследований»
Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, 1А/11, e-mail: pit_mix@mail.ru)

Базарбай Лашын, PhD, докторантка

Института автоматизации и информационных технологий

Бактыбаев Мурат Кыргызбаевич, кандидат физико-математических наук,
ассоциированный профессор Института автоматизации и информационных технологий

НАО КазННТУ имени К.И. Сатпаева

(050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22,

e-mails: lashyn_7754@mail.ru, m.baktybayev@satbayev.university)

Аннотация. Материалы, их свойства и возможности составляют основу развития всех отраслей науки и технологий. Характеристики материалов полностью определяют основные электрофизические свойства микроэлектронных приборов и в целом приборостроения. В указанных приложениях требуются материалы высочайшей чистоты и химической стойкости. В многостадийном технологическом процессе изготовления полупроводниковых приборов используемые материалы не должны деградировать со временем. В процессе проведения операций по формированию структуры полупроводниковых элементов и узлов микроприборов используются различные разномасштабные технологические операции и переходы. К ним относятся операции напыления наноструктурных металлических пленок из высокопроводящих и резистивных сплавов, формирование изоляционных и защитных неметаллических пленок, операции анизотропного и изотропного травления, модификации материалов с использованием ионного легирования и прочих операций. В статье описаны варианты модификации материалов микроэлектронных датчиков с целью улучшения их метрологических характеристик: расширения рабочего температурного диапазона, увеличения ресурса, и проч. Предложены методы, внедренные в существующие технологии и конструкции, которые отвечают заявленным требованиям.

Ключевые слова: датчик, микроэлектронный, материал, ионы, полупроводник.

CONTROL OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS OF MICROELECTRONIC SENSORS

© 2021

Mikhailov Petr Grigorievich, doctor of Technical Sciences, professor,
leading researcher at the Center for Support of Scientific Research

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baidukova proezd / Gagarina street, 1A / 11 e-mail: pit_mix@mail.ru)

Bazarbai Lashyn, PhD doctoral student of the Institute of Automation and Information Technologies

Baktybaev Murat Kyrgyzbaevich, candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor of the
Institute of Automation and Information Technologies

NAO KazNRTU named after K.I. Satpayev

(050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Satpayev st., 22,

e-mails: lashyn_7754@mail.ru, m.baktybayev@satbayev.university)

Abstract. Materials, their properties and capabilities, are the main and most important indicators in all branches of science, technology, construction of various objects. The properties of materials are of particular importance in microelectronics and instrument making. This is primarily due to the fact that the materials in them determine the basic electrophysical properties of the products they produce. In these industries, materials of the highest purity and chemical resistance are required. In a multistage technological process of manufacturing microcircuits and semiconductor devices, the materials used should not degrade in their properties and characteristics. In the process of carrying out operations to form the structure of semiconductor elements and units of microdevices, various different-scale technological operations and transitions are used. These include the operations of spraying nanostructured metal films from highly conductive and resistive alloys, the formation of insulating and protective non-metallic films, operations of anisotropic and isotropic etching, modification of materials using ion doping and other operations. The article describes the options for modifying the materials of microelectronic sensors in order to expand their metrological characteristics: expanding the temperature range, increasing the resource, etc. In addition, methods are given that have been implemented in existing technologies and designs that have met the stated requirements.

Keywords: sensor, microelectronic, material, ions, semiconductor.

Введение. Микроэлектронные датчики (МЭД) обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными датчиками (малые габариты, повышенная чувствительность, групповые процессы изготовления, невысокая стоимость и проч.), что позволяет широко использовать их в различных отраслях науки, техники и в быту. Но, наряду с несомненными преимуществами, им присущи и определенные недостатки – сравнительно узкий температурный диапазон работы, температурный и временной дрейфы характеристик, хрупкость чувствительного элемента и проч., что сдерживает их внедрение в такие важные отрасли, как авиация, ракетно-космическая техника, ядерная и тепловая энергетика [1 - 3]. Эти ограничения объясняются, в первую очередь, свойствами применяемых в МЭД полупроводниковых материалов и структур (шириной запрещенной зоны, типом изоляции сформированных в полупроводнике элементов и структур, уровнем легирования и т.д.). Использование широкозонных полупроводников и полупроводниковых соединений (алмаза, карбида кремния, арсенида галлия) пока еще проблематично из-за значительных технологических трудностей и дороговизны исходного материала. Поэтому основным способом повышения стабильности и устойчивости МЭД к дестабилизирующим факторам является обеспечение возможности управления свойствами материала полупроводникового чувствительного элемента (ПЧЭ) [4 - 6].

Целью исследований является нахождение механизмов и методик управления электро-физическими характеристиками (ЭФХ) элементов и структур ПЧЭ для их оптимизации.

Как показали проведенные исследования, управления свойствами материалов МЭД можно добиться следующими основными методами [7, 8].

1. Модификацией поверхностей и объемных областей ПЧЭ.
2. Формированием самоорганизующихся сенсорных структур.
3. Использованием динамических режимов работы ПЧЭ.

Модификация предполагает формирование на поверхности или в объеме ПЧЭ зон элементов (диэлектрических пленок, геттеров, поликристаллических или аморфных областей и т.д.), имеющих отличные от основного материала физико-механические свойства (твердость, подвижность носителей и проч.). Формирование самоорганизующихся структур заключается во введении на каждом физическом уровне (зерно, кристалл, тензоэлемент) локальных обратных связей, обеспечивающих стабилизацию характеристик ПЧЭ [5, 6]. Функционирование ПЧЭ в динамическом режиме (автоколебания) позволяет значительно уменьшить погрешности и дрейф характеристик МЭД.

Следует отметить, что кремний с такими малыми концентрациями носителей заряда технологически очень трудно получить. Так, метод зонной плавки позволяет получить примесную концентрация $\approx 10^{12} \text{см}^{-3}$. Для производства же высокочувствительных фото-

приемников, датчиков радиации, магнитодиодов и проч., требуется высокочистый кремний с концентрацией примесей не более $10^{10} \dots 10^{11} \text{см}^{-3}$ [9, 10]. Для получения высокоомных кремния и арсенида галлия используют оригинальный метод компенсации, путем легирования примесью противоположного типа проводимости. Так, кремниевые (Si) слитки, выращиваемые по методу Чохральского, и имеющие изначально электронный тип проводимости, легируют акцепторной примесью – бором, имеющим уровень $\Delta E_a = 0,045$ эВ, отсчитываемый от вершины валентной зоны. Концентрация компенсирующей примеси определяется, исходя из замеров объемного сопротивления слитка кремния. Зонная диаграмма самокомпенсированного кремния приведена на рисунке 1.

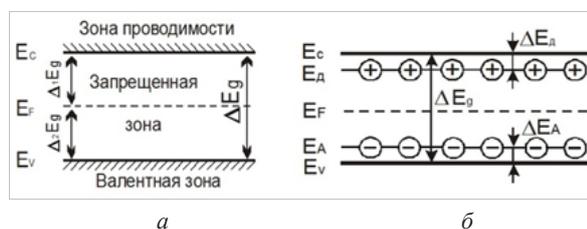


Рисунок 1 – Зонные модели кремния: с собственной проводимостью (а) и компенсированного (б), у которого $\Delta E_d \approx \Delta E_a$ и $N_d \approx N_a$

Получение самокомпенсированного кремния вышеописанным методом (мелкие доноры компенсируются мелкими акцепторами) имеет один существенный недостаток, заключающийся в необходимости точного соблюдения технологических режимов и в малой управляемости самого процесса. Более эффективной является компенсация остаточной примеси глубокими донорами или акцепторами. Такой метод компенсации имеет то преимущество, что избыточная глубокая примесь не влияет на электропроводность полупроводника и ее избыток не приводит к перекомпенсации, как это бывает в случае мелкозалегающей (мелкой) примеси. Таким образом, сравнительно просто технологически получить высокоомный полупроводник с проводимостью, близкой к собственной (его еще называют *i* – типным, например *i-Si*) [8].

Глубокими примесями для Si являются Au, Mn, Co и ряд других (рис. 2).

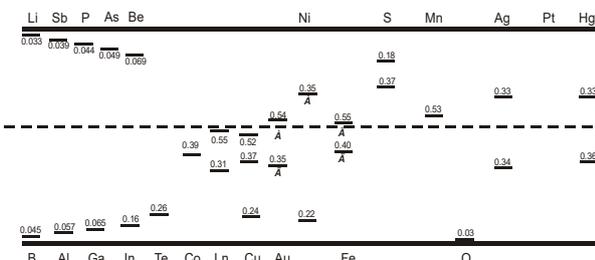


Рисунок 2 – Расположение донорных и акцепторных уровней в кремнии для различных легирующих элементов

Особенно велико значение указанного метода получения компенсированного материала для GaAs, который является перспективным материалом для высокотемпературных МЭД. Дело в том, что соб-

ственная концентрация носителей заряда у него очень мала $\approx 10^8 \text{ см}^{-3}$ (удельное объемное сопротивление $\approx 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), поэтому получить такой материал глубокой очисткой практически невозможно. Используя же компенсацию глубоким акцептором (*Cr*), имеющим уровень 0,70 эВ (близко к середине запрещенной зоны) получают практически полную компенсацию мелких донорных уровней, в результате чего может быть получен полуизолирующий *i-GaAs* с ρ_s вплоть до $10^{18} \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Материалы и результаты исследований. При целенаправленном введении в полупроводник легирующих примесей (модификация полупроводника) или наличии в материале разного рода дефектов, дислокаций в запрещенной зоне образуются так называемые примесные уровни (мелкие и глубокие уровни), которые также изменяют свои свойства под действием деформации. Это изменение в основном сводится к смещению примесных уровней и изменению энергии ионизации, причем влияние второй составляющей гораздо меньше чем первой. Так, для мелких донорных и акцепторных примесей изменение энергии ионизации в *Ge* (аналогично и для *Si*) составляет 10^{-13} эВ/Па , тогда как, изменение ширины запрещенной зоны составляет, т.е. на два порядка меньше.

Более сложно ведут себя глубокие уровни в полупроводнике под действием деформации, но их влияние также мало по сравнению с явлением изменения ширины запрещенной зоны. Так, согласно [10, 11], для золота, создающего в *Si* несколько глубоких уровней, энергия ионизации при всестороннем сжатии представлена в таблице 1, где *D* – донорная, *A* – акцепторная примеси. Перераспределение носителей заряда (НЗ) в деформированном полупроводнике между смещенными уровнями, смещение примесных центров приводят в общем случае к изменению таких важных для полупроводника ЭФХ, как подвижность и время жизни НЗ.

Таблица 1 – Энергия ионизации при всестороннем сжатии

Ширина запрещенной зоны E_g , эВ	Чувствительность ширины запрещенной зоны к всестороннему сжатию $\frac{dE_g}{dP} \cdot 10^{11}$ эВ/Па
0,35 (D)	0,05
0,54 (D)	-1,5
0,62 (A)	-3,0

Рассмотрим влияние этих изменений. Подвижность НЗ выражается через массу и время релаксации носителей заряда как

$$\mu = \tau \cdot l/m \quad (1)$$

Обычно считают (по экспериментальным данным), что τ не зависит от деформации, поэтому изменения μ связаны с изменением массы НЗ, но, как ранее было указано, эти изменения не являются существенными.

При рассмотрении механизмов влияния деформации на ЭФХ полупроводника, можно заметить, что все изменения концентрации, эффективных масс, подвижности и времени жизни НЗ в определенной степени связаны с изменением ширины запрещенной зоны (ΔE_g). Изменения последней зависят от вида напряженно-деформированного состояния полупроводника и, в общем случае, может быть представлено как

$$\Delta E_g = a_g |\sigma|, \quad (2)$$

где a_g – постоянный коэффициент, зависящий от материала полупроводника (эВ/Па); σ – механическое напряжение, Па. Ранее было приведено выражение для всестороннего сжатия: $a_g = -1,5 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}$.

Для одноосного напряженного состояния a_g зависит от ориентации прилагаемой нагрузки. Так, для монокристаллического кремния (в круглых скобках значения для растяжения) (*Si*):

$$\begin{aligned} [001] &-7,4 (-3,6) \cdot 10^{-11} \\ [111] &-4,5 (-3,4) \cdot 10^{-11} \\ [110] &-2,1 (-6,7) \cdot 10^{-11} \end{aligned}$$

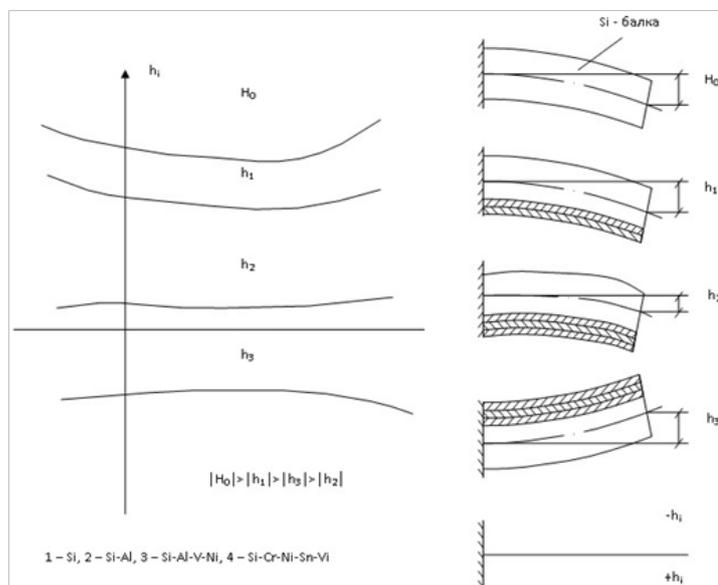


Рисунок 3 – Метод управления уровнем механических напряжений с помощью металлических пленочных композиций (1-Si; 2- Si-Al; 3-Si-Al-V-Ni; 4-Si-Cr-Ni-Sn-Vi; 5-скомпенсированный ЧЭ)

Здесь видно, что максимальная чувствительность у S_i наблюдается в направлении [001] для сжатия и [110] – для растяжения. Знак минус у параметра a_g говорит о том, что и сжатия и растяжения приводят к уменьшению ширины запрещенной зоны у S_i [12 - 14].

Следует отметить, что при рассмотрении деформационных явлений необходимо учитывать уровень механических напряжений: высокими считаются те, при которых изменение ширины запрещенной зоны существенно превышает температурный потенциал, т.е. при $\Delta E_g \gg kT$, и малыми, при которых $\Delta E_g \leq kT$. В первом случае большинство эффектов в полупроводниках определяются степенью изменения ширины запрещенной зоны, а во втором эффекты объясняются в основном изменением эффективных масс, времени жизни и подвижности носителей заряда [15-16].

Очень эффективным методом снижения внутренних и тепловых механических напряжений является метод их компенсации с использованием полипленочных структур, формируемых на ЧЭ МЭД (рис. 3) [19].

Заключение. Предложенные методики и технологии управления ЭФХ, позволяют эффективно оптимизировать основные параметры ПЧЭ: параметрическую и временную стабильность которые напрямую зависят от уровня внутренних и наведенных механических напряжений [17 – 19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств. Справочник / М.: Радио и связь, 1991. – 526 с.
2. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применение / под ред. Г. Харбеке / М.: Мир. 1989.
4. Технология тонких пленок / Справочник в 2-х томах под ред. Мейсэла, т.1. М.: Мир, 1972.
5. Михайлов П.Г., Козин С.А. Интегральный полупроводниковый преобразователь давления // Патент RU 1527526.
6. Петерсен К.Э. Кремний как механический материал. // ТИИР № 5 – 1982. – С. 5-49.
7. Викулин Н.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов / М.: Радио и связь, 1990, 264 с.
8. Модификация и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными потоками /пер. с англ. под ред. Дж. Поути / М. Машиностроение 1987.
9. Сергеев В.С. Напряжения и деформации в элементах микросхем / М.: Радио и связь, 1987.
10. Материалы микроэлектронной техники /под ред. В.М. Андреева /М.: Радиосвязь, 1989 - 350 с.
11. Шаскольская М.П. Кристаллография. / М.: Высшая школа, 1976. – 393 с.
12. P.G. Mikhajlov V.A., Chulkov Yu.N., Slesarev Mathematical Modeling of Combined Sensor Information - Measuring Systems // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 20 (2016) pp. 10332-10337 © Research India Publications, http://www.ripublication.com.
13. Mikhailov P.G., Ozhikenov K.A., Development of Technologies, Methods and Devices of the Functional Diagnostics of Microelectronic Sensors Parts and Components // 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (A PEIE).2016. Vol.1. -pp. 84-90.
14. Михайлов П.Г., Косоголов В.М. Полупроводниковый чувствительный элемент датчика и способ его изготовления // Патент РФ № 1606886.
15. Mikhaylov P.G., Kassimov A.O. Microelectronic Sensors for the Aircraft and Space-Rated Equipment // International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR) ISSN 0976-2612, Online ISSN 2278-599X, Vol-8, Issue-4, 2017, pp 152-157 <http://www.bipublication.com>.
16. P. Mikhailov, M. Bayasilova Multi-functional sensors for control systems and monitoring // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Volume 9, Issue 13, December 2018, pp. 959-967, Article ID: IJMET_09_13_G01.
17. Mikhailov P.G., Chuvykin B.V., Mikhailov A.P. Questions of control of electrophysical properties of materials and structures of microelectronic sensors // International Multi- Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies FarEastCon 2019.
18. Mikhailov P, Ualiyev Zh Sensor stability assurance problems and their relationship with the overall problems of providing system performance quality //MATEC Web of Conferences 329, 03032 (2020) <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032903032> ICMTE 2020
19. Mikhailov P.G., Chuvykin B.V., Mikhailov A.P. Modeling of dimension chains of pressure control devices // Journal of Physics Conference Series, 2020, 1515(4), 042099

Статья поступила в редакцию 21.06.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 519.67

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0005

**РАННЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ПОСТЕПЕННЫМ ХАРАКТЕРОМ ПРОТЕКАНИЯ ВО ВРЕМЕНИ**
© 2021

Воробьев Юрий Михайлович, инженер-электроник

АО АвиаСтар – СП

(432072, Ульяновская область, г. Ульяновск, проспект Антонова, 1, e-mail: aviastar-spru@mail.ru)

Дмитриенко Герман Вячеславович, профессор, доктор технических наук, кафедра Самолетостроение

Ульяновский государственный технический университет,

обособленное структурное подразделение «Институт авиационных технологий и управления»

(432072, г. Ульяновск, проспект. Созидателей, д. 13, Блок, 2, dmitrienko.german@yandex.ru)

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос в области использования удаленного администрирования и развернутого мониторинга различного состояния работы средств вычислительной техники (СВТ), в которой имеется постоянное взаимодействие с внешней средой. В работе обосновывается возможность процесса алгоритмизации, для определения возможных появлений предвестников и разных неисправных состояний СВТ, определение состояний в начинающихся стадиях отказов и из постепенного процесса обработки при помощи диагностической программы. Тестирование запуска алгоритма производится, когда непосредственно программа диагностирования находится в серверном компьютере или *client*-компьютере с использованием удаленного доступа. Управляющая область программы находится на компьютерах пользователей. Архитектура программной среды имеет графическую оболочку, для удобного использования. В процессе обработки данных, алгоритм программы производит расчеты для поиска предвестника и анализа его поведения в системе. В статье показано, как измеренные параметры помогут определить эффективность решения мер и дать точное для этого решение.

Ключевые слова: алгоритм диагностирования, анализ и аудит систем, предвестники отказов, элементы устройств.

**EARLY DETECTION OF MALFUNCTIONS OF ELEMENTS AND DEVICES OF COMPUTER
EQUIPMENT WITH A GRADUAL CHARACTER OF PROCESSING IN TIME**

© 2021

Vorobyov Yuri Mikhailovich, electronics engineer

Aviastar-SP JSC

(432072, Ulyanovsk region, Ulyanovsk, Antonov Avenue, 1, e-mail: aviastar-spru@mail.ru)

Dmitrienko German Vyacheslavovich, professor, doctor of technical Sciences, department of aircraft Engineering

Ulyanovsk state technical University,

separate structural division " Institute of aviation technologies and management "

(432072, Ulyanovsk, Prospekt. Creators, 13, Block 2, e-mail: dmitrienko.german@yandex.ru)

Abstract. This article discusses the issue of using remote administration and extensive monitoring of various states of operation of computer technology (CT), in which there is a constant interaction with the external environment. The work substantiates the possibility of the algorithmization process, to determine the possible occurrence of precursors and various faulty states of the CT, to determine the states in the initial stages of failures and from the gradual processing process using a diagnostic program. Algorithm launch testing is performed when the diagnostic program itself is located in a server computer or a client computer using remote access. The control area of the program is located on users' computers. The architecture of the software environment has a graphical shell for easy use. In the process of data processing, the program algorithm makes calculations to search for a precursor and analyze its behavior in the system. The article shows how the measured parameters will help determine the effectiveness of the solution of measures and give an accurate solution for this.

Keywords: diagnostic algorithm, analysis and audit of systems, precursors of failures, elements of devices.

Введение. Для повышения безопасности компьютерной системы, существуют различные уже реализованные методы, которые не нуждаются в высоких финансовых инвестициях. Для организационно-профилактических мер по техническому обслуживанию, вызывается специалист этой области, который непосредственно обеспечит работоспособность ИТ-подразделения компании. В процессе технического обслуживания могут возникать тяжелые ситуации, которые требуют оперативного решения за короткий срок. Зачастую возникает большая сложность в нахождении

специалиста, которые смогут эффективно принимать решения по устранению неполадок, из-за такой сложности в поиске нужного специалиста, в компании может возникнуть остановка работы техпроцесса или большим техническим ошибкам или сбоям.

Все рассматриваемые вопросы, обосновывают, какая проблема возникает в сфере технического обслуживания информационных систем, и принятии решений техническими специалистами по выявлению предвестников отказывающихся элементов в системе, для экономии времени на принятие данного решения.

Но при таком решении, еще многие области этой сферы не исследованы и не изучены используемые действующие алгоритмы для поиска предвестников по отказам с протеканиями во времени.

Целью статьи заключается в рассмотрении ранее обнаруженных неисправностей элементов СВТ, с постепенным протеканием во времени. Используемые методы исследования заключаются в анализе на основе статистического накопления информации текущего состояния и выявленным дефектам компьютерной системы. Используемая комбинаторная программная модель алгоритмизации, служит для оптимального обнаружения и фиксации первых предвестников отказанных элементов системы с ранним протеканием во времени.

Материалы и результаты исследования. В процессе проведения исследования, был представлена ситуация, когда алгоритм активно исследует рабочее состояние определенных узлов системы для поиска отклонения в сигналах заданного элемента, для выявления предвестника отказного элемента система, который будет свидетельствовать о предстоящем отказе. Такое предположение будет оправдываться естественным образом, потому что отказы в высоконадежных системах являются частыми и имеют актуальность в решении [1, стр. 18].

Такое актуальное решение позволит избежать неожиданные отказы в системе, которые могут резко остановить рабочий процесс. В установленные функции программы, которая будет описываться в данной статье, входит определитель скрытого предвестника отказного элемента системы, который обозначается как сигнал, идущий от определенных элементов с целью определения отказа системы. В БД данной программы фиксируется архив адресов компьютеров для очередности проведения их проверки по сети передач данных. В такой архив могут фиксировать от 5 до 10 компьютеров, но от количества фиксированных компьютеров для обработки, будет зависеть и скорость работы алгоритма в процессе определения неисправностей. Задача для построения используемого алгоритма для поиска предвестника на начальном этапе отказа элементов системы, будет происходить методом, который описывается ниже в данной статье. Главное учитывать, то, что состояние появления предвестников не могут затрагивать соседние, так как они независимы друг от друга [2, стр. 87].

Проведение исследования будет начинаться с базовых узлов системной платы. Узлом условно можно представлять графическую точку в дереве событий, в вершине которой имеется 2 или более выходов. Уязвимыми выходами могут являться «северный и южный мост», сетевой адаптер или дискретные элементы как, например, жесткий диск или оперативная память [3, стр. 109].

На начальном этапе алгоритма для ID-устройства и его открытым портам, программа будет определять тип устройства и после чего начнет проводить проверку исходящего сигнала, для поиска предвестника. В

процессе исследования, представляется виртуальным образом совершающееся на один момент времени работоспособное состояние системной платы, в котором возникает первый признак ошибки, т.е. изменение состояние одного из элементов в неисправное состояние, в следствии чего появляется первый сигнал, описывающий данное состояние элементам. Для удобного представления данной ситуации, построим матрицу состояний.

В матрицу вводится состояние T в столбец $(n+1)$ чтобы показать, что он фиктивный и заполняются все 0=ми, поскольку только начинается определение отклонения от нормы. Теперь предположительно составим это состояние $(n+1)$, когда идет оповещение, что начался необратимый процесс в каком-то элементе (начавшееся незримое глазу разрушение структуры компонента), а другие исправны и необходимо определить источник неисправности системы. В таком случае вероятность выхода из строя j -узла:

$$T_1 = \{t_{6(1)}^1, t_{8(1)}^2, t_{3(1)}^3\}, t_{6(1)}^1 \rightarrow \{3, 5, 5\}, t_{8(1)}^2 \rightarrow \{3, 4, 4\}, \\ t_{3(1)}^3 \rightarrow \{3, 5\}, Q_{j(1)} = \{0,32, 0,28, 0,4\}.$$

После чего подходит опознавание источника сигнала с проверкой каждого отдельного элемента. Допускается, что ПК состоит из нескольких отдельных компонентов, для примера – 6. При помощи проверки элементов отдельными циклами, будет производится вычисление сигнала, который идет от дефектного элемента, и по нему будет производится обнаружение источника неисправности. В матрице (рис. 1) можно наглядно увидеть процесс обнаружения возможного открывающегося дефекта через отклонения в виде имплицитного сигнала. Причем если неисправность стала развиваться в одном узле элементов, то и в других узлах будет возможно зафиксировать такую неисправность, потому что вся сборка элементов находится в единой электрической цепи.

$t_{u(1)}^r$	Ω_1			$t_{u(1)}^r$
	3	4	5	
$t_{6(1)}^1$	1	0	1	3
$t_{8(1)}^2$	1	1	0	4
$t_{3(1)}^3$	1	0	0	5
$Q_{j(1)}$	0,32	0,28	0,4	

Рисунок 1 - Матрица состояния сигналов

Алгоритм засвидетельствовал, что это в сигналах показатели не 0,00 от рабочих характеристик параметров, а зарождаются первые отклонения и это будут предвестники отклонений как на рисунке 1. На этом разе вполне допускается подразделить всю систему на части для очень качественного исследуемых подсистем на серию успеха или отказа [4, стр. 129].

Для представления стартовал этап неисправности одного из элементов в ПК, с вероятностями нарушения границ целостности каждого узла: $q_1=0.05$, $q_2=0.08$, $q_3=0.12$, $q_4=0.1$, $q_5=0.15$ и приступается к созданию вычислений, зная априори, что другие элементы годны. Присваивается к матрице вероятность, когда один элемент находится в стадии разрушения $Q_j, j=1.5$ нахождения. Используя значения, проводится расчет вероятности сигнала предвестника $Q_1=0.1$, $Q_2=0.16$, $Q_3=0.24$, $Q_4=0.2$, $Q_5=0.3$ и преобразует матрицу T как алгоритм оптимальности. Теперь можно в соответствии с $\tilde{Q}_{j(i)}=\tilde{Q}_j/\tilde{Q}_i$ получить: $Q_{3(1)}=0.32$, $Q_{4(1)}=0.28$, $Q_{5(1)}=0.4$, это предвестники отклонений. Матрицу комфортнее восприятию считать, когда элементы все сделаны по номерам в соответствии с системой поиска репликации сигнала предвестника и представлением (крайней цифры), с которой алгоритм начинает отсчет. Важно иметь представление о том, как функционирует заданная система с целью тщательного понимания происхождения отказов [5, стр. 201].

И так, все части одной большой модели с уникальным способом функционирования выполняются по определенному типу функционирования частей, и случается, не имеют четких описаний.

На деле будет важным иметь представление еще о внешних условиях воздействия и держать описание по работе комплекса оборудования. После того как проведен анализ данных с матрицы состояний сигналов (рис. 1), получены некоторые варианты узлов, на которых определяется появление предвестников отказов. Матрица предлагает визуально посмотреть на сложившиеся проценты незримых течений сигналов и прохождение предвестников в виде электронов по токоведущим частям элементов.

Таким образом было предположительно установлено выше, что в компьютере будет №3-сигнал от южного моста на системной плате и свидетельствующий о нарушении в работе питания дросселей; №4-сигнал подают транзисторы, не получая необходимое напряжение они работают в истощенном режиме; №5-сигнал указал начавшееся повреждение служебной зоны, при развивающемся повышении температуры у жесткого диска после продолжительного пользования. Эта часть в алгоритме выдает такие вероятности, что показывают нам коэффициенты исчисления в момент физического использования устройства в процессе с ним работы. Само построение оптимального алгоритма, контролирующего сигналы предвестники начинающегося состояние деградации узла, будет лучше развернуть решение методом динамического программирования (МДП).

Матрица показала вероятности неисправности элементов. Далее формируется обзор действий алгоритма с визуализации работы всех циклов. В процессе обнаружения отклонения сигнала от нормы, дает определение что один из элементов находится в неисправном состоянии. Вычисление неисправного элемента, будет начинаться с первого элемента, где при-

сутствует наименьшая вероятность неисправности или совсем отсутствует данное значение [6, стр. 59].

Такой метод обнаружения неисправного элемента затратит наименьшее количество времени. В процессе обнаружения более сложной неисправности элемента, алгоритму программы придется снова обращаться к данному элементу, так как система имеет циклическую систему поиска.

Цикл 1. И так, на системной плате начнется верификация нескольких элементов. Блок 1=ввод данных для верификации. В цикле – Блок 2 выполняется верификация сигналов по не убыванию в соответствии с их появлением. Матрица $T=T_i$ использует свою уникальную нумерацию теста поиска. В $T_1 = \{t_9^1, t_{10}^2, t_8^3, t_5^4, t_6^5, t_7^6, t_3^7, t_1^8, t_4^9, t_2^{10}\}$, с возможными вероятностями $Q_j = \{0.02; 0.5; 0.10; 0.07; 0.1; 0.70\}$. Тогда блок 5=да, возможно (предвестник), блок 4 отработка некоторой партии теста сигналов, блок 7=нет, возможно, ложный сигнал, нет отказа. Блок 11=да, возможно, блок 12, $\Omega_i = \Omega_{i'}$ поиск предвестника из множества, а остальные будут годными и обработка оставшейся части следующей партии сигналов. Блок 3 $w=1$ переход к следующему циклу.

Цикл 2. Блок 2 перепроверяет более четкие сигналы, например, позволяет проверить сигналы 2, 3, 6 тогда блок 5 =нет. Блок 2=проверяет 3 сигнал=да, выявлен потенциальный предвестник. Переход к блоку 21=нет. В блоке 20=тоже возможно нет. Блок 19=да, возможно еще 1 потенциальный предвестник найден, и система возвращается в 1 цикл, начиная перепроверку с блока 11.

Цикл 3. Блок 2 снова перепроверяет сигналы. Блок 5=нет. Блок 6=нет. Блок 21=нет. Блок 20=нет. Блок 19=да, возможно. Возврат к циклу 1 к блоку 11. Если часто встречается повторяющийся блок с условием = да, то это четкий предвестник и программа определяет устройство, у которого появилось отклонение.

По проведенным результатам проверки различного сигнала для заданных вариантов, предположительно 10-й окажется неисправным и с ним программа работать не будет. Алгоритм будет выбирать оптимальную стратегию поиска и выявления вероятности отказа элемента.

Исследования показали, что представляется возможным выделить оптимальные варианты стратегии по поиску неисправных элементов с выгодным решением.

Операции циклов (рис. 2) выполняются в несколько этапов перепроверок. Метод будет являться условным, поскольку чтобы правильно вычислить некоторые процентные вероятности различных событий, включенных вовремя, необходимо не пропускать множественные системные взаимосвязности, а это, в свою очередь, может привести к некоторым затруднениям по исследованию системы.

Различные операции требуют системного подхода с привлечением очень узконаправленных областей ИТ-инженеров.

По результатам исследований визуализируем

процесс отметок, жизнедеятельности свободного события, протекающий внутри работы компьютерного оборудования и проанализируем его [7, стр. 12].

Такой процесс зафиксирован в обзоре примера анализа последовательностей свободного события

(рис. 3). При собирании такой модели требуется учитывать то, с какими внешними факторами приходилось уживаться на этапе работы и с каким значением эти факторы воздействуют на систему и провоцируют отказ.

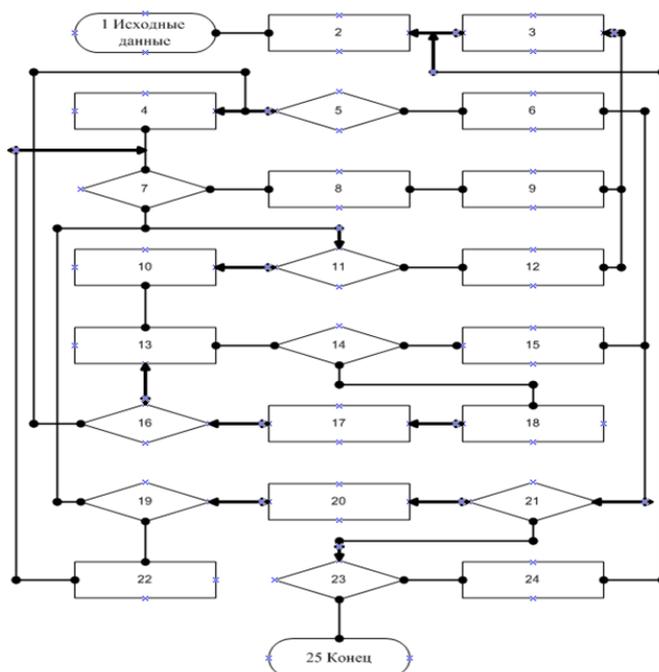


Рисунок 2 – Схема выполнения алгоритма для поиска имплицитного узла

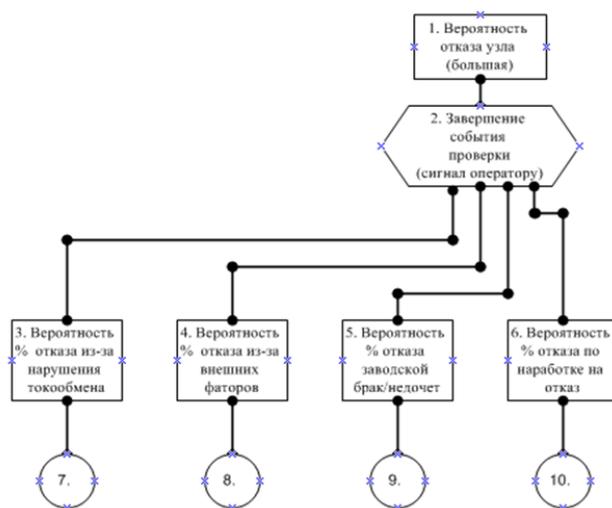


Рисунок 3 – Анализ последовательностей свободного события

Любой инициируемый компонент вентиля вызывает выходное событие с различающимися градациями, где вероятность отказа узла в процентном отношении составит: (0,00) нормальный жизненный цикл устройства; (0,10) очень низкая; (0,20) низкая; (0,30) средняя; (0,40) выше среднего; (0,50) высокая; (0,60) очень высокая (0,70) опасно высокая; (0,80) критическая и (0,90 и 1 идет как полный отказ). В результате мы получаем на схеме: 1. Компонент (узел) 7 - это событие 1 с вероятностью 0.50 (высокая); 2. Компонент 8 - это событие 2 с вероятностью 0.40 (выше среднего); 3. Компонент 9 - это событие 5 с вероятностью 0.10 (очень низкая); 4. Компонент 10 это событие 6 с вероятностью 0.10 (очень низкая). События с пони-

женными вероятностями машина помечает как неперспективные и в событие 2 они попадут лишь с развитием на уровень вероятности = выше среднего.

Не только анализ действий свободного события требовалось рассмотреть, но и исследовать сценарий развития предвестника с отображением его негативных последствия (рис. 4) [8, стр. 179].

Для наиболее емкого его изучения будет интересно просмотреть, как будет складываться квантование предвестника изнутри функционирующего элемента. Обзор взгляд изнутри и последствия этого квантования, и принятие/непринятие ответных санкций по предотвращению нештатных ситуаций от оператора [9, стр. 23].

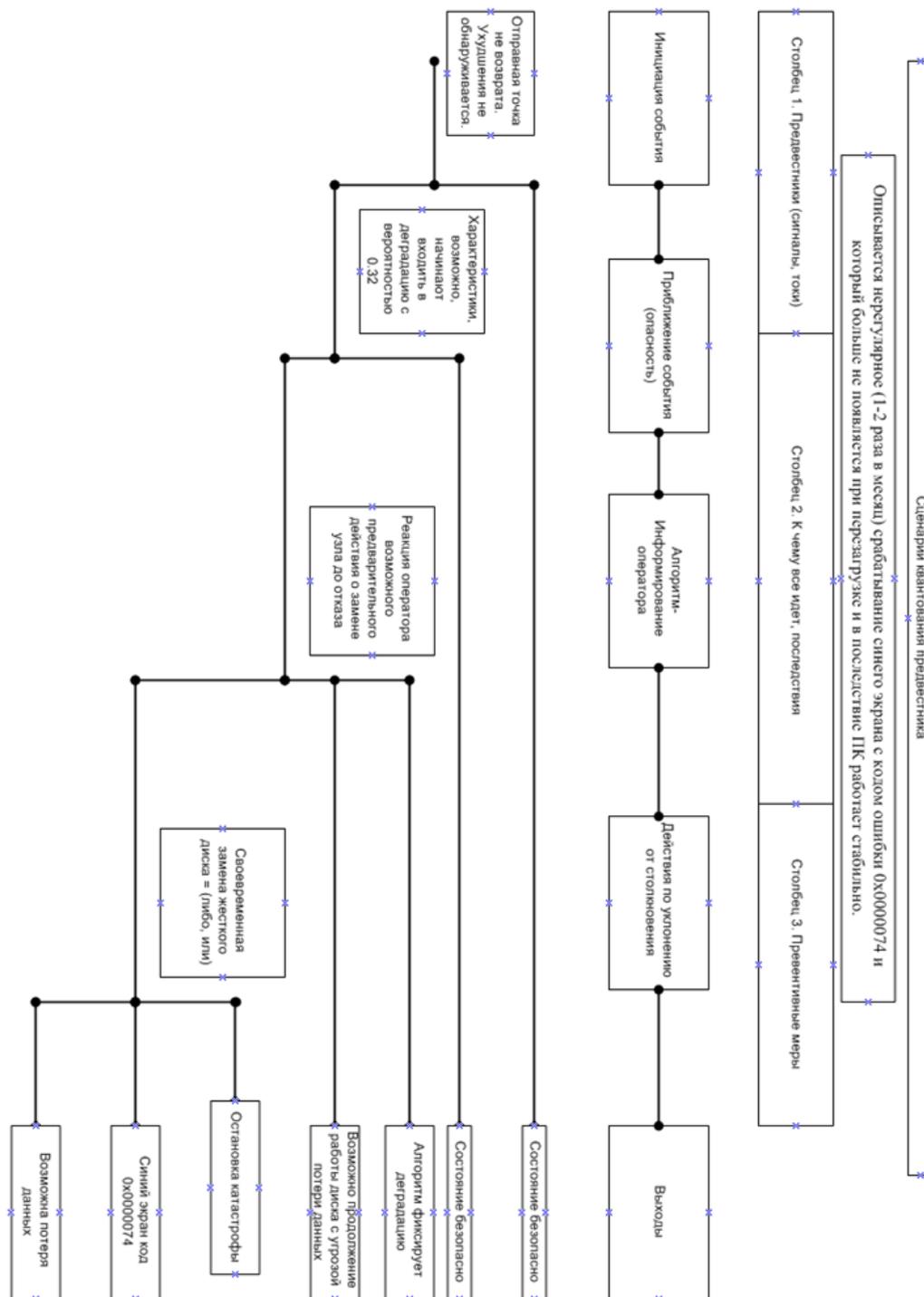


Рисунок 4 – Сценарий строения предвестника

Важным звеном в сценарии будет получение возможности достижение фиксаций роста показателей опасных событий и изменения конструкции во внутренних структурах узлов во времени.

В результате наиболее значительными аспектами задач, участвующими в действии алгоритма, что будет задействована процедура извлечения предвестников отказов из сложных электронных систем способом, который имеет возможности обработки деревьев отказов, а также получение математических решений, коэффициентов извлечения вероятностей катастрофических событий независимых от любых других пере-

менных [10, стр. 85]. Для этого определения использована математическая модель взаимосвязей появления опасных событий.

Удаленное администрирование компьютеров, широко развивающееся направление в области информационных технологий и научной сфере. В этой связи, система с дистанционным диагностированием средств вычислительной техники по выявлению предвестников отказов с постепенным характером протекания во времени будет незаменимым инструментом для удаленного администрирования в реальном времени по локальной вычислительной сети или в приме-

нении на автоматизированном рабочем месте [11-15].

Из современных систем мониторинга и управления по раннему обнаружению неисправностей элементов и устройств вычислительной техники не встречаются с функцией дистанционного определения предвестников отказов, либо используются с крайне ограниченным функционалом [16-21].

Заключение. Система с функцией удаленного диагностирования и предлагаемым продвинутом алгоритмом прогнозирования отказов, по их предвестникам имеющие постепенный характер протекания во времени предоставляет возможности:

– визуальной индикации, на которой отображаются все текущие проверяемые узлы по раздельности с сигнализацией при обнаружении отклонений у элементов или потенциально подозрительных, на раннем этапе;

– экономить ценное время, и можно успеть принять превентивные меры, не допуская резких остановок в работе оборудования за счет выполнения упорядоченной последовательности проверки поиска по узлам. При таком варианте скорость реакции на отклик значительно возрастает, что в итоге дает нам выигрышное решение.

Платформа реализуется с открытой архитектурой и дистанционной функцией управление удаленными рабочими станциями, а также рекомендуется на вооружение в арсенал каждому ИТ - специалисту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аркин В.И. Задача оптимального распределения поисковых усилий / В.И. Аркин. – Теория вероятностей и ее применений. -1964. - №1. – С.170-180.
2. Герасимова Е.Д., Найда В.А., Полякова И.Ф. Повышение эффективности ПТЭ ЛА за счет сокращения простоев при подготовке ВС к полету. Пособие по выполнению контрольной работы \ Е.Д. Герасимова, В.А. Найда, И.Ф. Полякова. – М.: МГТУ ГА, 2010. – 348 с.
3. Добрица Б.Т., Пашковский Г.С., Шевцов Ю.А. Оптимальный алгоритм поиска отказов для одного класса моделей объектов контроля / Б.Т. Добрица и др. // Изв. вузов. Приборостроение. – 2017. – №12. – С. 29-35.
4. Волошин А.А., Волошин Е.А., Усачев С.С., Энтентеев А.Р., Максудов Б.Т. Прогнозирование технического состояния оборудования и управление стабильности энергосистемы при помощи технологии интернета вещей для мониторинга в электрических сетях низкого напряжения / А.А. Волошин, Е.А. Волошин и др. // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. - 2017. - №12. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-tehnicheskogo-sostoyaniya-oborudovaniya-i-upravlenie-stabilnosti-energosisitemy-pri-pomoschi-tehnologii-interneta> (дата обращения: 20.02.2021).
5. Гришко, А.К. Анализ основных задач и методов диагностирования неисправностей информационно-вычислительных систем / А.К. Гришко, К.С. Новиков, Н.Г. Джума-мухамбетов, И.И. Кочегаров, Н.К. Юрков //Инновационные, информационные и коммуникационные технологии, 2019. – №1 – С. 215-219.
6. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. "Питер", СПб - М., Харьков, Минск, 2000, - 118 с.
7. Добрица Б.Т., Пашковский Г.С., Шевцов Ю.А. Оптимальный алгоритм поиска отказов для одного класса моделей объектов контроля / Б.Т. Добрица и др. // Изв. вузов. Приборостроение. – 2017. - №12. – С. 29-35.
8. Кадырова Г. Р. Интеллектуальные системы: учебное пособие / Г. Р. Кадырова. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. - 85 с.
9. Крашенинников В.Р., Кувайскова Ю.Е. Прогнозирование динамики объекта с использованием авторегрессионных

моделей на цилиндре / В.Р. Крашенинников и др. // Радиотехника. - 2016. - № 9. – С. 15-19.

10. Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А., Федорова К.А. Информационно - математическая система поддержки принятия решений по управлению объектом на основе прогнозирования его технического состояния / Ю.Е. Кувайскова, А.А. Алёшина и др. // Автоматизация процессов управления. - 2018. - № 1 (51). - С. 55-80.

11. Макаровский И.М. Основы технической эксплуатации и диагностики авиационной техники: Учеб. пособие / И.М. Макаровский. - Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун - т, 2004. - 116 с.

12. Мышкин Л. Уйти или остаться? Закулисные проблемы системных администраторов / Л. Мышкин // Системный администратор. 2010. - №4-6. – С. 21-26.

13. Пашковский Г.С. Задачи оптимального обнаружения и поиска отказов в РЭА / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1981. – 69 с.

14. Панков Д.А., Денисова Л.А. Контроль и диагностика неисправностей программно-аппаратного комплекса / Д.А. Панков // ОНВ. - 2018. - №2 (158). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontrol-i-diagnostika-neispravnostey-programmno-apparatnogo-kompleksa> (дата обращения: 20.02.2021).

15. Попов, А.А. Проектирование экспертной системы в виде мобильного приложения для диагностирования неисправностей в работе вычислительной техники / А.А. Попов, А.К. Овсянкин, Ю.А. Юринский //Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2019. – №2 – С. 57-62.

16. Стороженко Н.Р., Голева А.И. Математическая модель и алгоритм мониторинга параметров информационной системы / Н.Р. Стороженко, А.И. Голева // ОНВ. - 2018. - №6 (162). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-i-algoritm-monitoringa-parametrov-informatsionnoy-sistemy> (дата обращения: 20.02.2021).

17. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: дис. канд. техн. наук: 05.13.18 / И.А. Чучуева; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2012. – 118 с.

18. Яремчук С. Sacti – простой и удобный инструмент для мониторинга и анализа сети / С. Яремчук // Системный администратор. – 2007. - №4. – С. 10-27.

19. Kuvayskova Y.E. The prediction algorithm of the technical state of an object by means of fuzzy logic inference models // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 201. – pp. 767–772.

20. Sorokin A.A., Oleynikov A. A., Goryunov A. A. Using fuzzy classification to support decisionmaking during the modernization of the network infrastructure elements // 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies MWENT-2018 – 2018.

21. Zadeh L.A. Fuzzy Logic // Computational Complexity: Theory, Techniques, and Applications / R.A. Meyers (eds). – New York: Springer, 2012. – pp. 900-1200.

Статья поступила в редакцию 19.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 621.3.087.92

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0006

СИНТЕЗ МОДУЛЯРНОГО АЦП С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ФАЗЫ

© 2021

Кожевников Алексей Александрович, кандидат физико-математических наук,

доцент кафедры социально-гуманитарных, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин

Филиал Ростовского государственного университета путей сообщения в г. Воронеж

(394026, Россия, г. Воронеж, ул. Урицкого, 75а, e-mail: akozhev@yandex.ru)

Аннотация. Система остаточных классов (СОК) позволяет более эффективно реализовывать некоторые математические алгоритмы цифровой обработки сигналов. Фундаментальной проблемой полномасштабного применения СОК в вычислительных структурах является необходимость перехода от кодов позиционных систем счисления к кодам непозиционных систем, что приводит к существенной потере времени на обозначенную операцию и может нивелировать все положительные эффекты. Известные алгоритмы работы модулярных АЦП не обеспечивают должной эффективности, что выдвигает в ряд актуальных задач поиск новых подходов к модулярному преобразованию. В предлагаемом методе аналого-цифрового преобразования входная величина конвертируется в синусоидальный сигнал так, что разность его фазы и фазы опорной гармоники будет пропорциональна остатку по соответствующему модулю применяемой СОК. Далее осуществляется переход от полученной разности фаз к цифровому коду, которому с помощью ПЗУ в роли функционального преобразователя ставится в соответствие эквивалент в виде вычета. Рассмотренный подход интересен не только сам по себе, т.к. если результат функционирования мультипериодного фазовращателя привести к дискретным значениям фазы, то последующие вычислительные операции можно осуществлять на основе тональных устройств. Это потенциально позволяет поднять внутреннее быстродействие до многих десятков гигагерц.

Ключевые слова: система остаточных классов, модулярные аналого-цифровые преобразователи.

SYNTHESIS OF A MODULAR ADC WITH INTERMEDIATE PHASE CONVERSION

© 2021

Kozhevnikov Aleksey Aleksandrovich, candidate of physics and math.,

associate Professor of department «Socio-humanitarian, natural science and general professional disciplines»

Branch of Rostov State Transport University in Voronezh

(394026, Russia, Voronezh, Uritskogo street, 75a, e-mail: akozhev@yandex.ru)

Abstract. The use of the residue number system (RNS) in computational structures due to parallelization at the level of arithmetic operations allows for more efficient implementation of some mathematical algorithms. The latter include, for example, digital signal processing. One of the major obstacles to the full-scale application of RNS in these tasks is the need to switch from positional number system codes to non-positional ones in order to implement compatibility with existing ADC devices. The well-known algorithms of modular ADCs are not yet used due to their ambiguity in terms of performance. The search for new approaches to modular transformation can solve this problem. In the proposed method of analog-to-digital conversion, the input value is converted into a sinusoidal signal so that the difference between its phase and the reference harmonic is proportional to the remainder of the corresponding module of the applied RNS. Next, the measurement process is reduced to a transition to a digital code, which is matched by a ROM equivalent in the form of a deduction. The considered approach is interesting not only in itself, because if the result of the operation of a multi-period phase shifter leads to discrete phase values, then subsequent computational operations can be performed on the basis of tone devices. This potentially allows you to raise the internal speed to many tens of gigahertz.

Keywords: residue number system, modular analog-to-digital converters.

Введение. Применение системы остаточных классов (СОК) в вычислительных структурах за счет распараллеливания на уровне арифметических операций позволяет более эффективно реализовывать некоторые математические алгоритмы [1-3], используемые, например, при цифровой обработке сигналов. Одним из серьезных препятствий полномасштабного применения СОК в обозначенных приложениях является необходимость перехода от кодов позиционных систем счисления к кодам непозиционных систем для совместности с существующими устройствами АЦП.

Среди методов, использующих обратную связь для уравнивания входной величины [4], выделяется перспективный метод модулярного преобразования, идея которого состоит в представлении числового эк-

вивалента $A = (\gamma_p, \dots, \gamma_n)$ в СОК по n взаимно простым основаниям p_p, \dots, p_n в виде минимальных чисел от $(\gamma_1, 0, \dots, 0)$, $(0, \gamma_2, \dots, 0)$ и до $(0, 0, \dots, \gamma_n)$, и последовательном их сложении. Известная реализация не позволяет в каждой итерации определять точную величину вычетов, поэтому требуется корректировка полученных ранее величин. Тем не менее, в отличие от метода дихотомии данный метод позволяет повысить быстродействие. Развитие метода требует дополнительных исследований для выявления предельных показателей скорости и точности работы устройств в современном элементном базисе.

Модулярное аналого-цифровое преобразование предполагает определение остатка по модулю от целого числа $\gamma_i = A \bmod p_i$. В работе [5] предлагается

входную величину преобразовать в частоту промежуточного сигнала с дальнейшей оцифровкой его относительно медленными локальными АЦП, при которой формируется эквивалент остатка. Дальнейшая цифровая обработка позволяет выявить максимум спектра и по его положению идентифицировать значение вычета. Так практически напрямую реализуется приведенное выше выражение. Однако, несмотря на свою «модулярность», данный метод характеризуется крайне низким быстродействием, что затрудняет его практическое применение.

Конвейерные АЦП привлекают внимание своим быстродействием, а с точки зрения модулярного преобразования – высокой скоростью преобразования. Математическое исследование подобных АЦП с применением генераторов псевдослучайных чисел в качестве источников белого шума показало крайнюю чувствительность модулярного представления к искажающему воздействию [6]. В ранее опубликованном обзоре [7] приводится ряд решений по корректировке кода путем итераций, осуществляемых с помощью цепи обратной связи. Таким образом, дальнейшее развитие данного подхода требует исследования корректирующих возможностей на основе модели, приведенной в [6], а также сопоставительное сравнение достигнутых показателей с методом минимальных чисел.

Рассмотренные методы пока не находят применения в силу своей недостаточной эффективности, поэтому актуальным представляется поиск новых подходов к модулярному преобразованию.

Целью работы является развитие концепции АЦП, функционирующих в системе остаточных классов.

Материалы исследования. Рассмотрим схему (рис. 1), объединяющую обычный работающий в позиционном коде АЦП и преобразователь (кодер) кода АЦП в код СОК. Здесь АЦП может быть представлен любыми структурами [8], основными из которых являются: сигма-дельта ($\Sigma\Delta$), со сдвиговым регистром (SAR), конвейерного (PIPELINE) преобразования или прямого взвешивания (FLASH) (рис. 2).

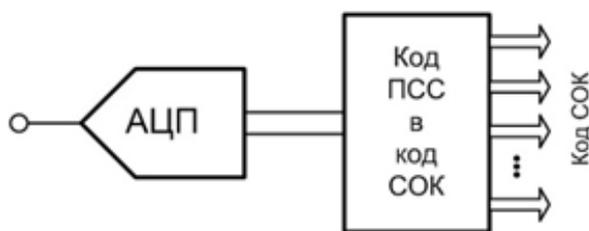


Рисунок 1 – Позиционный АЦП с преобразователем в СОК

Первые два реализуются схемами с обратной связью, где результат предыдущей итерации измерения используется для уточнения итогового числового значения. В сигма-дельта АЦП уровень входного сигнала преобразуется в частоту импульсов, которые после прореживания [8, 9] подсчитываются. За счет применения некоторых приемов удается достигнуть точности вплоть до двадцати четырех битов.

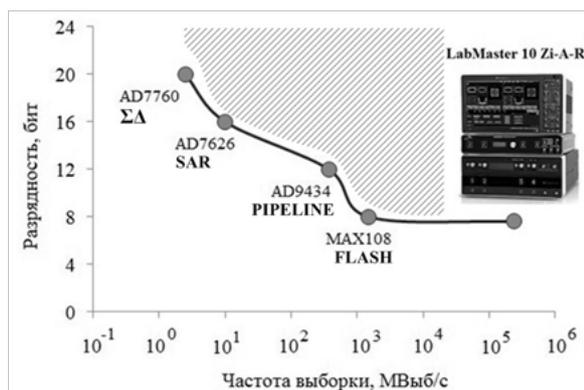


Рисунок 2 – Возможности основных методов позиционного аналого-цифрового преобразования

Схема со сдвиговым регистром реализует алгоритм дихотомии – последовательного деления отрезка пополам и поиска промежуточной величины в одной из половин. Количество итераций в процессе преобразования соответствует разрядности итогового двоичного числа, которая может достигать шестнадцати. Конвейерный метод использует обычно два последовательно соединенных АЦП прямого взвешивания (параллельные АЦП), при этом результат первого АЦП, преобразованный в аналоговую величину с помощью дополнительного ЦАП, вычитается из исходного входного уровня и передается на второй АЦП. N -разрядный АЦП прямого взвешивания (он же – параллельный АЦП) одновременно сравнивает на 2^N компараторах входную величину с опорными значениями, последовательно увеличивающихся от компаратора к компаратору на $E_{max}/2^N$, где E_{max} – разница между максимальным и минимальным значением опорного напряжения. Полученный приоритетный унитарный код преобразуется дешифратором в двоичный. Более быстродействующее устройство представляет собой уже целый комплекс измерительных и вычислительных узлов. В качестве примера такого прибора на рисунке 2 показан цифровой осциллограф типа LabMaster [10].

Поскольку в представленном на рисунке 1 устройстве переход к СОК может быть осуществлен очень быстро (единицы тактов) с помощью ПЗУ, хранящего готовые результаты преобразования, то модулярный АЦП, очевидно, при сопоставимой разрядности на больших частотах должен работать быстрее, чем составная схема, показанная на рисунке 1. При меньших скоростях выборки время преобразования позиционного кода в непозиционный становится незначительным по сравнению с циклом работы АЦП. Таким образом, характеристики модулярного АЦП должны соответствовать, а в идеале и превосходить АЦП позиционного типа (заштрихованная область на рисунке 2). Современные достижения микро- и нанoeлектроники позволяют рассчитывать на достаточно низкие уровни собственных шумов элементной базы, определяющих точность работы устройств, поэтому как серьезный резерв повышения эффективности следует рассматривать алгоритм преобразования.

Преимущество позиционного кодирования заключается в связности разрядов получаемых чисел, поскольку логика их формирования подразумевает увеличение на единицу старших разрядов при переполнении младших, что соответствует динамике роста аналогового сигнала, т.е. например +5В идет после +3В, что и позволяет реализовывать простые и быстрые алгоритмы аналого-цифрового преобразования типа прямого взвешивания. В похожей ситуации вычеты СОК будут претерпевать циклическое повторение. Это означает, что при реализации алгоритма модулярного АЦП всегда необходимо какое-то промежуточное преобразование входного уровня аналоговой величины, которое затем уже будет переводиться в числовой эквивалент остатков по модулю.

В поименованных на рисунке 2 методах производятся переходы «входной уровень – промежуточный уровень – код» и «входной уровень – промежуточный уровень – частота прямоугольных импульсов – код». В нониусных АЦП [11, 12], отличающихся самой большой точностью, но малой скоростью преобразования,

происходят переходы типа «входной уровень – частота прямоугольных импульсов – разность фаз – код». Здесь промежуточные процедуры преобразования используются для формирования измеряемого временного интервала.

В предлагаемом методе модулярного аналого-цифрового преобразования входная величина конвертируется в синусоидальный сигнал так, что разность его фазы и фазы опорной гармоники будет пропорциональна остатку по соответствующему модулю применяемой СОК. Далее процесс измерения сводится к переходу к цифровому коду, которому посредством ПЗУ ставится в соответствие эквивалент в виде вычета.

Результаты исследования. Алгоритм функционирования модулярного АЦП основан на преобразовании уровня входного сигнала в синусоидальные колебания с заданной частотой. Фаза полученных колебаний смещается относительно опорной гармоники пропорционально вычету применяемой СОК [13]. Чтобы этого добиться, используется мультипериодный фазовращатель (МпФв) (рис. 3).

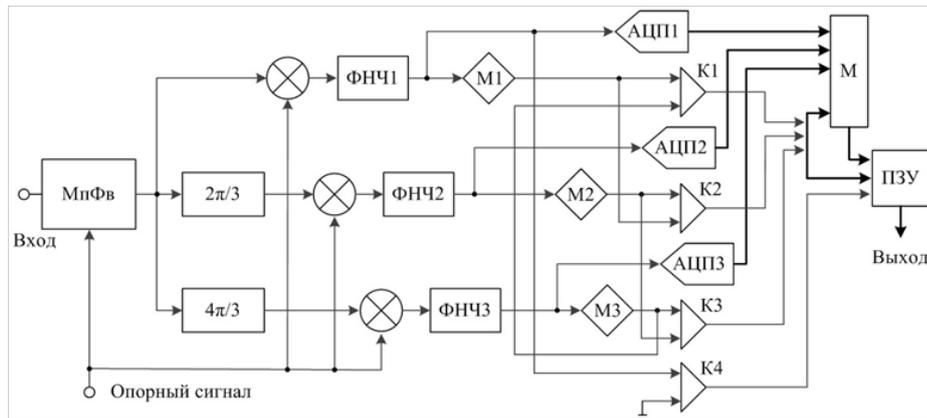


Рисунок 3 – Схема АЦП по модулю m с промежуточным преобразованием фазы

Реализовать такую схему можно на основе фазовращателя с аналоговым управлением и максимальным углом поворота в пределах одного периода [14], и блока умножения фазы [15] на константу, задаваемую ПЗУ. Работа аналого-цифрового преобразователя по модулю m инициируется поступлением на вход МпФв измеряемого напряжения $U_{вх}$, на другой его вход непрерывно подается опорное синусоидальное колебание с частотой ω . На выходе МпФв формируется гармоника (амплитудой $U=1$ в относительных единицах) со смещением по фазе:

$$U_1(t) = \sin(\omega t - 2\pi \frac{M U_{вх}}{m E})$$

где M/m – максимальное количество периодов поворота фазы МпФв, $M = \prod_{i=1}^n m_i$ – объем чисел применяемой системы остаточных классов (СОК) по модулям m_i , а m – актуальное для устройства значение модуля, $m \in (m_1, \dots, m_n)$, n – количество модулей СОК, E – максимальное значение входного напряжения. После разделения сигнала на три части и прохождения двух из них через фазовращатели на $2\pi/3$ и на $4\pi/3$ происходит перемножение всех трех с опорной гармоникой $\sin(\omega t)$ и последующая низкочастотная

фильтрация результатов перемножения (ФНЧ), при этом на выходах ФНЧ образуются напряжения (в относительных единицах):

$$U_{ФНЧ1} = \cos(2\pi \frac{M U_{вх}}{m E})$$

$$U_{ФНЧ2} = \cos(2\pi \frac{M U_{вх}}{m E} + 2\pi/3)$$

$$U_{ФНЧ3} = \cos(2\pi \frac{M U_{вх}}{m E} + 4\pi/3)$$

Далее происходит формирование кода адреса ПЗУ. Первая часть адреса формируется АЦП с разрядностью N . Измерение осуществляется в пределах от $-0,5$ до $0,5$ амплитуды гармонического сигнала. В результате формируются следующие цифровые значения, исходя из выражений:

$$\begin{cases} F_{АЦП} = \lfloor (U_{ФНЧ} + 0,5) \cdot 2^N \rfloor, & \text{если } U_{ФНЧ} \in [-0,5, 0,5), \\ F_{АЦП} = 0, & \text{если } U_{ФНЧ} < -0,5, \\ F_{АЦП} = 2^N - 1, & \text{если } U_{ФНЧ} \geq 0,5. \end{cases}$$

Вторая часть адреса определяется компараторами $K1-K3$, на которые поступают сформированные мостами $M1-M3$ положительные уровни с двух соседних

трактов, при этом реализуются сравнения:

$$\begin{aligned} Q_{K1} &= 1, \text{ если } |U_{\text{ФНЧ1}}| > |U_{\text{ФНЧ2}}|, \text{ иначе } 0, \\ Q_{K2} &= 1, \text{ если } |U_{\text{ФНЧ2}}| > |U_{\text{ФНЧ3}}|, \text{ иначе } 0, \\ Q_{K3} &= 1, \text{ если } |U_{\text{ФНЧ3}}| > |U_{\text{ФНЧ1}}|, \text{ иначе } 0. \end{aligned}$$

Вместе со второй частью адреса на ПЗУ проходит код того АЦП, который преобразует сигнал в наиболее линейной и крутой части функции синус в диапазоне от $-0,5$ до $0,5$, что выбирается мультиплексором (М), исходя из второй части адреса согласно логической единице, полученной в одном из выражений:

$$\begin{cases} Q_1 = \bar{Q}_{K1} \wedge Q_{K3}, \\ Q_2 = \bar{Q}_{K2} \wedge Q_{K1}, \\ Q_3 = \bar{Q}_{K3} \wedge Q_{K2}. \end{cases}$$

Третья часть формируется компаратором К4, предназначенного для исправления ошибок кодирования в предыдущих элементах, в зависимости от выражения:

$$Q_{K4} = 1, \text{ если } U_{\text{ФНЧ1}} > 0, \text{ иначе } 0.$$

Таким образом, на входы ПЗУ поступает адрес разрядностью $N+4$, в соответствии с которым и выбирается значение остатка по модулю m . В качестве примера рассмотрим систему остаточных классов по основаниям $m_1 = 3, m_2 = 5, m_3 = 7$ (т.е. $n=3, M = \prod_{i=1}^3 m_i = 105$).

Пусть актуальное для устройства значение модуля $m=7$, тогда $M/m=15$. На вход (рис. 3) поступает напряжение $U_{\text{вх}} = 3,2\text{В}$ при $E=5\text{В}$. На выходе МпФв формируется гармоника со смещением по фазе относительно опорной: $U_{\text{г}}(t) = \sin(\omega t - 2\pi \cdot 15 \cdot 3,2/5) = \sin(\omega t - 1,2\pi)$. После разделения сигнала на три части и прохождения их через фазовращатели на $2\pi/3$ и на $4\pi/3$ происходит перемножение с опорной гармоникой и низкочастотная фильтрация, в результате чего на выходах ФНЧ1 – ФНЧ3 образуются напряжения:

$$\begin{aligned} U_{\text{ФНЧ1}} &= \cos(1,2\pi) = -0,809, \\ U_{\text{ФНЧ2}} &= \cos(1,2\pi + 2\pi/3) = 0,913, \\ U_{\text{ФНЧ3}} &= \cos(1,2\pi + 4\pi/3) = -0,104. \end{aligned}$$

Далее происходит формирование кода адреса ПЗУ. Пусть разрядность внутренних АЦП $N=3$, тогда на их выходах образуются цифровые значения: $F_{\text{АЦП1}}=0, F_{\text{АЦП2}}=7, F_{\text{АЦП3}}=[(-0,104+0,5) \cdot 2^3]_{(10)}=3_{(10)}=011_{(2)}$. Вторая часть адреса определяется компараторами К1-К3: $Q_{K1}=0$, поскольку $|-0,809| < |0,913|$, $Q_{K2}=1$, поскольку $|0,913| > |-0,104|$, $Q_{K3}=0$, поскольку $|-0,104| < |-0,809|$. Вместе со второй частью адреса на ПЗУ проходит первая часть кода от третьего АЦП $F_{\text{АЦП3}}=011_{(2)}$, т.к. $Q_3=1$:

$$\begin{cases} Q_1 = \bar{0} \wedge 0 = 0, \\ Q_2 = \bar{1} \wedge 0 = 0, \\ Q_3 = \bar{0} \wedge 1 = 1. \end{cases}$$

Третья часть кода формируется компаратором К4: $Q_{K4}=0$, поскольку $-0,809 < 0$. Таким образом, на входы ПЗУ поступает адрес разрядностью $N+4$: $011\ 010\ 0_{(2)}$. Полученный промежуточный код однозначно определяет разность фаз между выходной из МпФв и опорной гармоникой, поэтому его можно интерпретировать в значение вычета (γ) по актуальному модулю. В данном случае $\gamma=4$.

Пример дополнительных расчетов, приведенных в таблице 1, отображает входную величину, соответствующую ей разность фаз в градусах и радианах, и результат работы цифровых узлов схемы. Как видно,

применяемый промежуточный код избыточен, поскольку один вычет отображается несколькими его значениями. Отсюда следует возможность увеличения модуля при сохранении тех же параметров внутренних АЦП. Следует также отметить малую разрядность последних, при том что микросхемы АЦП, работающие по методу прямого взвешивания (рис. 2) с $N=8$ представлены широкой номенклатурой. Это дает серьезный ресурс для улучшения параметров всего модулярного АЦП.

Таблица 1 – Значения вычетов в окрестности измеряемой величины

$U_{\text{вх}}$	Градусы	Радианы	Код АЦП	Q_{K1}	Q_{K2}	Q_{K3}	Q_{K4}	Вычет γ
3,161	174	3,037	111	1	0	0	0	3
3,169	182	3,176	111	1	1	0	0	3
3,174	188	3,281	110	1	1	0	0	3
3,181	196	3,421	101	1	1	0	0	3
3,189	204	3,560	100	1	1	0	0	3
3,194	210	3,665	100	0	1	0	0	4
3,196	212	3,700	011	0	1	0	0	4
3,200	216	3,770	011	0	1	0	0	4
3,202	218	3,805	010	0	1	0	0	4
3,209	226	3,944	001	0	1	0	0	4
3,217	234	4,084	000	0	1	0	0	4
3,224	242	4,224	000	0	1	1	0	4
3,230	248	4,328	001	0	1	1	0	4
3,237	256	4,468	010	0	1	1	0	4
3,244	264	4,608	011	0	1	1	0	5
3,250	270	4,712	100	0	0	1	0	5

Заключение. Предложенный алгоритм модулярного аналого-цифрового преобразования предусматривает два этапа работы: получение эквивалента вычета в виде разности фаз гармонических сигналов, и измерение последней с использованием промежуточного представления в виде непозиционного кода. Рассмотренный подход интересен не только сам по себе, т.к. если результат функционирования мультипериодного фазовращателя привести к дискретным значениям фазы, то последующие вычислительные операции можно осуществлять на основе тональных устройств [16-18]. Это потенциально позволяет поднять внутреннее быстродействие до многих десятков гигабайт в секунду. Практическая реализация алгоритма и уточнение рабочих характеристик устройств с предложенной структурой требуют дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
2. Djath L., Bigou I K., Tisserand A. Hierarchical approach in RNS base extension for asymmetric cryptography // Proceedings of IEEE 26th Symposium on Computer Arithmetic, Kyoto, Japan, 10-12 June, 2019. pp. 46-53.
3. Gorodecky D., Villa T. Efficient implementation of modular division by input bit splitting // Proceedings of IEEE 26th Symposium on Computer Arithmetic, Kyoto, Japan, 10-12 June,

2019. pp. 54-60.

4. Абрамсон И.Т., Авров О.М., Ляпкин Л.Я. Кодирование электрических величин в системе остаточных классов // Автометрия. – 1975. – №2. – С. 23-29.

5. Кожевников А.А., Беспалов К.П. Методы непозиционного аналого-цифрового преобразования // Автометрия. – 2015. – №6. – С. 125-130.

6. Кожевников А.А. Математическое обследование конвейерных АЦП в системе остаточных классов // Вестник БГТУ. – 2017. – №7. – С. 27-34.

7. Кожевников А.А. Аналого-цифровые преобразователи в системе остаточных классов // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2010. – №9. – С. 26-28.

8. Кестер Уолт. Аналого-цифровое преобразование / Под ред. Уолта Кестера // Пер. с англ. М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.

9. Слюсар В.И. Синтез алгоритмов измерения дальности М источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Радиоэлектроника. – 1996. – №5. – С. 55-62.

10. Дьяконов В. Сенсация 2015: Teledyne LeCroy освоила выпуск первого в мире 100-ГГц осциллографа реального времени! // Компоненты и технологии. – 2015. – №3. – С. 16-22.

11. Богородицкий А.А., Рыжковский А.Г. Нониусные аналого-цифровые преобразователи. М.: Энергия, 1975. – 120 с.

12. Севастьянов А.В. Нониусные аналого-цифровые преобразователи временных интервалов с оперативной калибровкой: дис. канд. техн. наук: 05.13.05, 05.11.16. – Пенза, 2006. – 164 с.

13. Патент 2747568 РФ, МПК H03M1/34. Аналого-цифровой преобразователь по модулю m / А.А. Кожевников, Н.Т. Хакимов, П.В. Павлов. – Оpubл. 07.05.2021.

14. Патент 2649050 РФ, МПК H01H3/30. Микроволновый аналоговый фазовращатель и система, содержащая его / А.Р. Виленский, М.Н. Макурин, Н.Н. Олюнин. – Оpubл. 29.03.2018.

15. Патент 2653310 РФ, МПК G06F7/72. Устройство для умножения числа по модулю на константу / А.А. Кожевников, А.Н. Харин, М.Г. Пашенко. – Оpubл. 07.05.2018.

16. Кожевников А.А. Мультифункциональные арифметические устройства в остаточных классах // Доклады ТУСУР. – 2018. – №4. – С. 59-62.

17. Кожевников А.А. Арифметические вентили модулярных спецпроцессоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2018. – №2. – С.46-51.

18. Кожевников А.А. Синтез тональных устройств для умножения по модулю // Вестник БГТУ. – 2019. – №3. – С. 65-70.

Статья поступила в редакцию 26.06.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 65.011.56

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0007

НЕЧЕТКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛИЕНТА ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

© 2021

Аксентьев Андрей Александрович, аспирант

Сизов Александр Семенович, профессор, доктор технических наук

Юго-Западный государственный университет

(305040, Курская область, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, e-mails: aks_w@mail.ru, sizov_w@mail.ru)

Аннотация. Данная работа рассматривает процесс определения показателей клиента предприятия на основании собранного массива нечётких данных о его деятельности и иных свойствах, на основании которых в статье предлагается производить расчёты, позволяющие предприятию более чётко присвоить категорию клиента, установить товарные позиции и услуги, наиболее актуальные для отдельного клиента и вероятность того, что клиент обратится на предприятие с запросом на данные товарные позиции и услуги. Целью исследования является разработка алгоритма оценки, который позволит предприятию на основании собранных нечётких данных о характеристиках автомобиля или автомобилей клиента, наиболее часто приобретаемых клиентом товаров и услугах, а также об опыте предприятия по работе с аналогичными автомобилями (учитывая производителя, пробег, год выпуска или иные характеристики, позволяющие определить типовые для автомобиля поломки, виды износа и наиболее частые проблемы), определять категорию клиента, его привлекательность для предприятия, вычислять приблизительные показатели сложности ремонтов и срока их выполнения, прогнозировать заранее необходимые исправления и дополнительные услуги. Задачи исследования сводятся к определению наиболее точного способа приведения нечётких данных к чёткости относительно заранее предусмотренного набора характеристик и набора информации, которую потребуется накапливать предприятию в виде нечётких данных для того, чтобы давать оценку клиента и его запросов как для предварительных расчётов, так и непосредственно при заключении договоров на обслуживание. В статье приведен анализ нечетких параметров клиента, разработана модель клиента на основе нечеткой экспертной системы. Внедрение подобной системы на предприятиях автомобильного хозяйства позволит формировать общие рекомендации для клиента на основании нечётких данных о его автомобиле, его возрасте и состоянии, а также позволит более детально работать с системой оценок при наполнении более детальной информацией. Система экспертной оценки при этом позволит интеллектуально определить, насколько сложной в части предоставления является услуга, которой желает воспользоваться клиент, относительно характеристик его автомобиля, а не общей статистики; система экспертной оценки поможет предприятиям в сфере автомобильного хозяйства рационально распределять ресурсы и рабочее время сотрудников с целью оказания своевременных и эффективных услуг населению.

Ключевые слова: нечеткая логика; нечетко – лингвистическое моделирование; нечеткие числа; функция принадлежности.

USING FUZZY LINGUISTICS TO DETERMINE CUSTOMER SATISFACTION LEVEL

© 2021

Aksentjev Andrey Alexandrovich, postgraduate student

Sizov Alexander Semenovich, professor, ph.d.

South-West State University

(305040, Kursk region, Kursk, 50 years of October str., 94, e-mails: aks_w@mail.ru, sizov_w@mail.ru)

Abstract. This paper examines the process of determining the indicators of an enterprise's client based on the collected array of fuzzy data on its activities and other properties, on the basis of which the article proposes to make calculations that allow the enterprise to more clearly assign the client's category, establish the commodity items and services that are most relevant for an individual client and the probability that the client will contact the company with a request for these commodity items and services. Development of an assessment algorithm that will allow an enterprise, based on the collected fuzzy data, about the characteristics of the client's car or cars, the most frequently purchased goods and services by the client, as well as the company's experience in working with similar cars (taking into account the manufacturer, mileage, year of manufacture or other characteristics that allow determine typical breakdowns for a car, types of wear and the most frequent problems), determine the category of the client, its attractiveness for the enterprise, calculate approximate indicators of the complexity of repairs and the timing of their implementation, predict necessary corrections and additional services in advance. The tasks of the research are reduced to determine the most accurate way to align fuzzy data to the definition with respect to a prescribed set of characteristics and a set of information that is required to store the enterprise in the form of fuzzy data, in order to give the client assessment and requests for preliminary calculations and directly at the conclusion of service contracts. The article provides an analysis of fuzzy parameters of a client, a client model is developed based on a fuzzy expert system. The introduction of such a system at automotive enterprises will make it possible to form general recommendations for the client based on fuzzy data about his car, its age and condition, and will also allow working in more detail with the rating system when filling in more

detailed information. At the same time, the expert assessment system will allow to intellectually determine how complex in terms of provision is the service that the client wants to use, in relation to the characteristics of his car, and not general statistics; a peer review system will help automotive companies optimally allocate resources and working time for employees in order to provide timely and effective services to the public.

Keywords: fuzzy logic; customer satisfaction; fuzzy numbers; linguistic assessment.

Введение. В данной работе планируется рассмотреть нечеткие параметры, которыми обладает клиент, разработать модель клиента на основе нечеткой экспертной системы, включая функции принадлежности нечетких параметров к лингвистическим переменным, представить зависимость выходной переменной «привлекательность клиента для предприятия» от входных переменных, являющихся нечеткими параметрами.

Группа нечетких данных состоит преимущественно из данных, получаемых путём анализа данных клиента или коммуникации с ним. Как правило, такие данные не могут иметь чётких значений, поэтому для их выражения используются в большинстве случаев лингвистические переменные. Во многом, состав группы нечетких данных зависит от типа бизнеса, которым занимается торговое предприятие. К примеру, для предприятия, обеспечивающего поставку автозапчастей и автомобильных лакокрасочных материалов, актуальной будет информация о том, интересуется клиент комплектующими на отечественные автомобили или на иномарки, интересуют его в первую очередь легковые автомобили или грузовые и т.п. На основании данной информации о клиентах предприятие сможет формировать ассортимент продукции, который будет востребованным среди существующих клиентов.

К более универсальным параметрам группы нечетких данных можно отнести платёжное поведение (какой ценовой группой в основном интересуется клиент – самыми дешёвыми предложениями, средней ценовой группой или товарами класса «люкс»), регулярность покупок (от единовременной покупки до регулярных плановых), уровень удовлетворённости клиента товарами и услугами предприятия.

Информация, собранная относительно Клиента, сберегается предприятием в базе данных и используется для обеспечения качественного обслуживания Клиента и повышения уровня его лояльности [1], а, как следствие, и увеличения прибыльности взаимоотношений с Клиентом. Некоторая информация, присутствующая в базе данных, предприятием для взаимоотношений с клиентом не используется, но используется для создания обобщённого портрета клиента предприятия. К такой информации можно отнести информацию о возрасте клиента, его половой принадлежности или гендерной самоидентификации, уровне образования. На основании обобщённого портрета клиента предприятие формирует маркетинговые мероприятия и рекламные материалы. Предприятию важно понимать, кто является средним клиентом, поскольку маркетинговые мероприятия для предприятия, клиентами которого являются 30-летние такси-

сты-мужчины, существенно отличаются от предприятия, обслуживающего преимущественно женщин 50-60 лет с высоким уровнем образования. К примеру, маркетинговая акция с призами за победу в забеге на 5 километров будет позитивно воспринята у первых, но едва ли будет пользоваться хоть какой-либо популярностью у вторых.

На основании данных об уровне удовлетворённости клиента обслуживанием и качеством товаров, предприятию может вести работу по выявлению и устранению проблем в своей работе и поднимать таким образом уровень продаж и лояльности клиентов [1]. Данные о регулярности покупок могут позволить формировать план поставок продукции на предприятие. Например, зная о том, что один и тот же Клиент ежемесячно осуществляет закупку одного и того же типа товара, предприятие может обеспечить присутствие данного товара в наличии на момент следующего регулярного визита Клиента или же обеспечить присутствие максимально подходящего аналогичного товара. Таким образом, предприятие обеспечивает как повышение уровня лояльности данного клиента (так как он уверен в том, что сможет приобрести необходимый товар как только он ему понадобится), так и поддерживает уровень продаж, ведь в случае отсутствия необходимого Клиенту товара или его аналога Клиент бы просто обратился в другую организацию с целью закупки именно того, что он хочет, после чего, вполне вероятно, прекратил бы обращаться к прежнему поставщику.

Помимо сбора и сохранения информации о Клиенте, не менее важным для предприятия является процесс поддержания данных актуальными [2]. Сотрудник юридического лица, осуществляющий закупки, может уволиться. В таком случае, номер телефона контактного лица и его электронная почта могут измениться и, если предприятие вовремя не отследит это изменение, следующий звонок такому клиенту уже не принесёт предприятию никакой пользы, так как человек более не принимает никаких решений на предприятии. Также следует понимать, что некоторые данные Клиента, несмотря на свою чёткость, могут принимать иные значения помимо тех, которые уже есть в базе данных предприятия [2]. Например, у физических лиц ежегодно меняется возраст, поэтому наиболее рациональный способ избежать путаницы с данным параметром – это уточнять у клиента не возраст, а дату рождения, по которой в любой момент можно вычислять актуальный возраст Клиента. У Клиента могут измениться паспортные данные, могут измениться банковские реквизиты. Изменение этой информации предприятию не сможет отследить никак без участия самого Клиента, поскольку ни банки, ни паспортная

служба не обязаны оповещать предприятие об изменении данных Клиента. В данном случае, предприятию будет достаточно просто предусмотреть возможность актуализации таких данных в своих программных комплексах на основании обращения Клиента.

Материалы и результаты исследования. Неопределенность нечетких параметров клиента, которые были рассмотрены выше, влияет на стабильность состояния организованной системы, поэтому с целью недопущения дестабилизации рекомендуется использовать дополнительную систему, использующую математический аппарат в сочетании с нечеткой логикой [3].

Подобная модель должна включать в себя такие

типы представлений:

- продукционные правила, которые задают логико-лингвистическое описание качественных переменных модели;
- функции принадлежности, которые задают классы значений переменных в диапазоне возможного их значения.

Функция принадлежности представляет собой вероятностную экспертную оценку степени принадлежности элементов нечеткого множества, которое описано функцией.

Создание модели нечеткого вывода включает в себя этапы создания, показанные на рисунке 1.



Рисунок 1 – Этапы создания модели нечеткого вывода

На рисунке 2 представлена типовая модель данных клиента.



Рисунок 2 – Модель клиента предприятия

В группе нечетких данных на схеме 1 универсальные поля, подходящие любому торговому бизнесу, обведены сплошной линией, а добавленные для примера поля, свойственные бизнесу в сфере торговли автомобильными запчастями и лакокрасочными материалами – пунктирной. Поскольку значение ни одного из полей данной группы не может принимать четкое значение [3], для описания значений применяются лингвистические переменные, указывающие на вероятность того или иного значения. Соответственно, в качестве факторов оценки клиента на основе личных наблюдений, опросов экспертов были выбраны факторы, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Входные данные

Обозначение переменной	Наименование переменной	Описание переменной	Терм - множество	Варианты ввода
$PB(x)$	Платёжное поведение	Позволяет оценить вероятность успешной продажи	Менее привлекательное, привлекательное, более привлекательное	0-1
$SL(x)$	Уровень удовлетворенности клиента	Позволяет оценить лояльность клиента к предприятию по опыту прошлых покупок	Низкий, средний, высокий	0-1
$FP(x)$	Частота покупок (поломок)	Количественная мера активности клиента по работе с предприятием	Низкая, средняя, высокая	0-1
$AC(x)$	Возраст автомобиля	Позволяет определить менеджерам, какой ассортимент более подходит клиенту	Новый, относительно новый, старый	0-1
$VM(x)$	Пробег автомобиля	Позволяет определить менеджерам, какой ассортимент более подходит клиенту	Маленький, средний, большой	0-1
$CR(x)$	Надежность автомобиля	Позволяет определить менеджерам, какой ассортимент более подходит клиенту	Низкая, средняя, высокая	0-1
$DL(x)$	Сложность ремонта (загруженность персонала)	Позволяет определить менеджерам, какая нагрузка от персонала требуется для решения задачи	Низкая, средняя, высокая	0-1

Рассмотрим теперь одну из функций принадлежности клиента на основании нечетких данных, которые имеем.

Функция принадлежности «Платёжное поведение» рассматривается как процент заказанных, но

не оплаченных товаров или же отмененных, возвращенных по каким-либо причинам [3]. Данную лингвистическую переменную достаточно описать тремя термами: менее привлекательное, привлекательное и более привлекательное поведение [4]. Менее привлекательное поведение характеризуется достаточно нестабильным поведением клиента, когда клиент оплачивает товар, а потом возвращает его с претензией, несвязанной с качеством товара, отменяет заказы или его часто не устраивает цена на разных этапах оплаты ремонта автомобиля [5]. В соответствии с этим у него низкий процент оплаченных товаров и услуг. Функцию принадлежности «Платежное поведение» можно представить как:

$$PB(x) = \begin{cases} \text{if}(25 \leq x \leq 50), \text{ менее привлекательное} \\ \text{if}(50 \leq x \leq 75), \text{ привлекательное} \\ \text{if}(75 \leq x \leq 100), \text{ более привлекательное} \end{cases}$$

График принадлежности для данной лингвистической переменной представлен на рисунке 3.

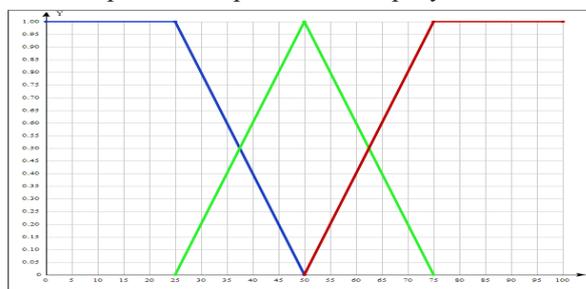


Рисунок 3 – График функции принадлежности «Платежное поведение клиента»

Аналогичными будут такие функции принадлежности как уровень удовлетворенности клиента и уровень загруженности персонала. Уровень удовлетворенности $SL(x)$ рассматривается на основании оценки качества услуг самим клиентом и рассматривается как количество баллов, набранных предприятием по итогам опроса или анкеты [6]. Уровень сложности ремонта $DL(x)$ рассматривается на основании оценки количества машин, уже находящихся в ремонтном цеху и загруженности персонала по каждому автомобилю.

$$SL(x) = \begin{cases} \text{if}(25 \leq x \leq 50), \text{ низкий} \\ \text{if}(50 \leq x \leq 75), \text{ средний} \\ \text{if}(75 \leq x \leq 100), \text{ высокий} \end{cases}$$

$$DL(x) = \begin{cases} \text{if}(25 \leq x \leq 50), \text{ низкий} \\ \text{if}(50 \leq x \leq 75), \text{ средний} \\ \text{if}(75 \leq x \leq 100), \text{ высокий} \end{cases}$$

Частота покупок (поломок) как процент заказанных и оплаченных товаров в течении какого-либо промежутка времени. Исходя из этих значений, клиента можно отнести к частому, обычному и очень редкому.

$$FP(x) = \begin{cases} \text{if}(0 \leq x \leq 25), \text{ редкий} \\ \text{if}(25 \leq x \leq 75), \text{ обычный} \\ \text{if}(75 \leq x \leq 100), \text{ частый} \end{cases}$$

Возраст автомобиля и пробег автомобиля можно описать соответствующими функциями $AC(x)$ и $VM(x)$.

$$AC(x) = \begin{cases} \text{if}(0 \leq x \leq 25), \text{ новый} \\ \text{if}(25 \leq x \leq 75), \text{ относительно новый} \\ \text{if}(75 \leq x \leq 100), \text{ старый} \end{cases}$$

$$VM(x) = \begin{cases} \text{if}(0 \leq x \leq 25), \text{ маленький} \\ \text{if}(25 \leq x \leq 75), \text{ средний} \\ \text{if}(75 \leq x \leq 100), \text{ большой} \end{cases}$$

Данный параметр спрашивает менеджер при первичном разговоре с клиентом и заносит его в систему.

В среде *MatLab* для реализации процесса нечеткого моделирования предлагается использовать пакет расширения *Fuzzy Logic Toolbox*, который содержит редакторы [8] нечеткого логического вывода, функции принадлежности, правила нечеткого вывода, просмотра правил вывода.

Функции принадлежности переменных измеряются в интервале от 0 до 10 на единичном отрезке [7]. Определение значений было получено на основании оценки экспертов. Функция принадлежности переменной «Надежность автомобиля» представлено на рисунке 4. Функция принадлежности других переменных были определены аналогично.

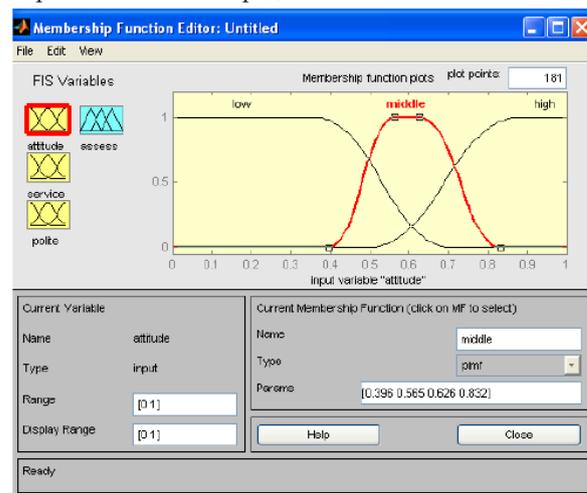


Рисунок 4 – Функция принадлежности «Надежность автомобиля»

Лингвистическую переменную надежность $CR(x)$ можно выразить через нечеткий временной ряд [9], представив, таким образом, в виде последовательных значений функции соответствия частоты поломок $FP(x)$ и пробега (тыс. км). Отметим, что эксперт анализирует тренд уже после проведения процедуры фаззификации.

В данном случае под термином фаззификация понимается процесс определения термов в зависимости от исходного набора нечетких данных [10], в результате можно получить фиксированные численные значения переменной. Чтобы наглядно продемонстрировать этап фаззификации используем редактор функции принадлежности. При этом показатель надежности будем описывать через 3 термина: высокая, средняя и низкая надежность автомобиля (рис. 5).

Средняя надежность (*midi*) определяется на этап обкатки нового. Здесь необходимо заметить, что

часто современные комплектующие нуждаются в «притирке», а то есть в ходе обкатки автомобиля, следует тестировать двигатель, тормозную систему и подвески при максимальных мощностях.

Высокая надежность (*high*) – это отрезок времени, где значение ресурса автомобиля – высоко, а чисто поломок – неизменно. Низкая надежность (*low*) – это период, когда ресурс автомобиль отработан и число поломок стремится к быстрому росту.

В процессе проектирования первых серий малометражных автомобилей ВАЗ конструкторы закладывали технический ресурс в 125 тыс. км. При том на момент реализации «десятой» серии данный показатель вырос до 150 тыс. км. Подчеркнем, что данное понятие не имеет четкого определения, а значит, не существует конкретных критериев, согласно которым можно определить, когда наступает предел технического состояния [11].

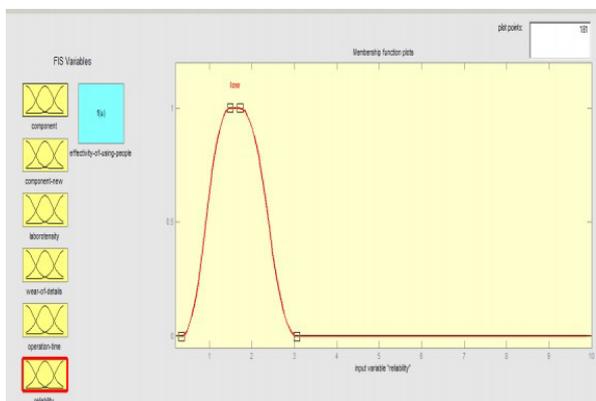


Рисунок 5 – Пример фаззификации входной лингвистической переменной «Надежность автомобиля» для нечеткого вывода «средняя надежность» на этапе обкатки нового автомобиля

Диапазоны выходных переменных заданы в диапазоне от 0 до 1 с помощью функции гауссова типа, где каждая характеризует переменную соответственно как низкая привлекательность, средняя привлекательность или высокая привлекательность (рис. 6).

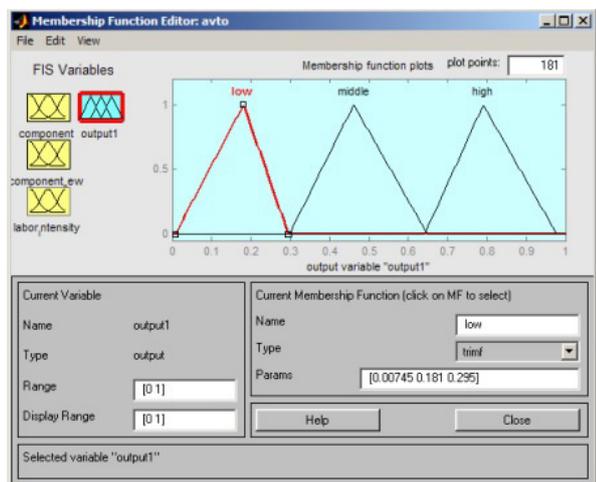


Рисунок 6 – Функции принадлежности выходной переменной «привлекательность клиента»

Выходным значение в модели является Привлекательность клиента ($y = [0,1]$) (рис. 7).

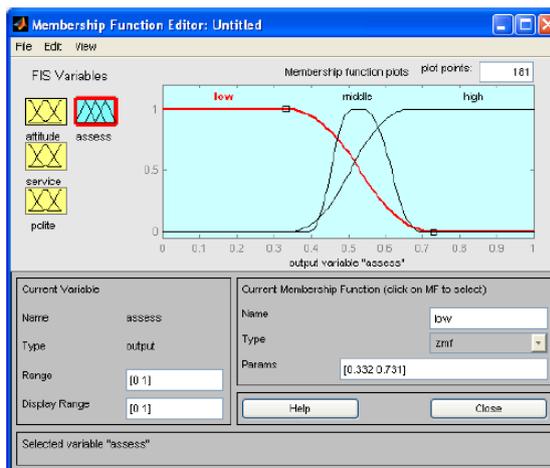


Рисунок 7 – Функция принадлежности «Привлекательность клиента»

Для определения адекватности нечеткого моделирования в разрезе данных результатов нечеткого вывода при дискретных значениях входных переменных анализа следует прибегнуть к модификации правил нечеткого вывода [12] или рассмотреть их в большом количестве (рис. 8).

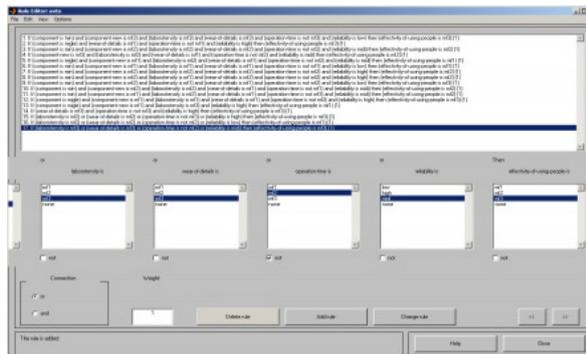


Рисунок 8 – Пример композиции правил

Изображенная на схеме продукционная нечеткая система выглядит в виде множества нечетких продукций (рис. 9).

Авторами использовались качественные параметры системы оценки, установленных на основе опроса и показателей системы нечеткой логики, зависящие от типа дефаззификатора (табл. 2). Количество заключенных договоров как количественный показатель деятельности менеджеров представлены в последней графе за определенный промежуток времени.

Визуализация разработанной нечеткой экспертной системы, которая демонстрирует связь между входными переменными модели и выходной переменной y («Привлекательность клиента»), представлена на рисунке 10. На рисунке изображен вывод программы *Matlab* в качестве визуализации нечетко-лингвистической модели клиента с данными из таблицы 2, иллюстрирующий отношение совокупности функций принадлежности клиента и оценки результирующей привлекательности клиента. Ис-

ходя из данных полученной зависимости можно сделать вывод, что выходная переменная «Привлекательность клиента» напрямую зависит от функций принадлежности, описанных в данной статье.

Область решений, показанная на иллюстрации, доказывает целесообразность данной экспертной системы моделирования оценки деятельности клиента.

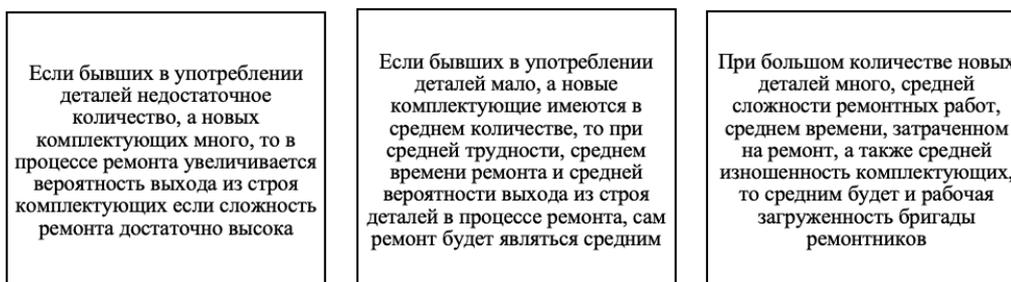


Рисунок 9 – Множества нечетких продукций продукционной нечеткой системы

Таблица 2 – Корреляционные параметры

	PB(x)	SL(x)	FP(x)	AC(x)	VM(x)	CR(x)	DL(x)	Y	Количество заключенных договоров
Клиент 1	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,3	0,7	0,3	10
Клиент 2	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,4	0,5	0,6	15
Клиент 3	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,2	0,5	13
Клиент 4	0,8	0,7	0,3	0,2	0,2	0,8	0,7	0,9	16
Клиент 5	0,5	0,5	0,9	0,3	0,3	0,5	0,4	0,8	20

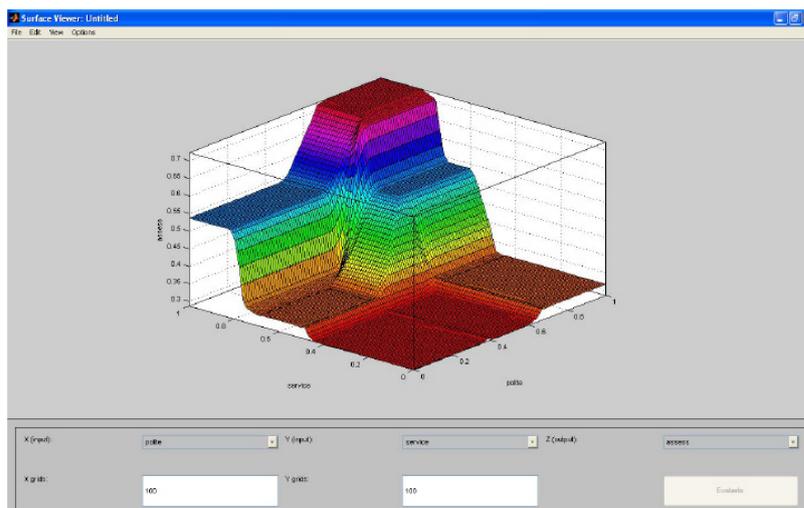


Рисунок 10 – Зависимость входных переменных и выходной переменной

Заключение. Следует отметить, что исследуемые методы в определении такого понятия как «эффективность» работы предприятия с использованием инновационной технологии нечеткой логики позволили сделать вывод [13], что в предлагаемом аппарате его возможности специалистами-менеджерами надлежащим образом еще не определены. В силу сложившихся обстоятельств бизнес и особенно представители крупных компаний постоянно сталкиваются с новыми проблемами, которые требуют правильных адекватных решений путем их научного и экспериментального разрешения. В этой связи в условиях информатизации будет целесообразнее всего как можно шире вовлекать в этот процесс такие инструментари, которые бы были основаны на сборе и анализе полученных данных, и давать им оценку опираясь при этом на современные направления в мировой экономической

науке [14].

Одним из таковых по праву на сегодня считается технология *Fuzzy Logic*, то есть эффективный и перспективный инструмент мягких вычислений [15]. При использовании данной методической системы логического нечеткого вывода позволило сделать рациональный анализ показателя и получить достоверную оценку уровня загруженности персонала занятого в ремонте автомашин. В данной статье даются обоснования в необходимости применения нечеткой логики при учете нечетких показателей клиента при оценке степени его привлекательности и важности для компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аксентьев А.А. Разработка системы принятия решений на основе нечеткой логики для анализа лояльности клиентов и управления отношениями / А.А. Аксентьев, А.С. Сизов //

Проблемы теории и практики управления. – 2020. – №6. – С. 72-88.

2. Грязнова Н. Л. Возможности метода SERVQUAL для анализа сервиса в розничной торговле / Н.Л. Грязнова, О.В. Коновалова, Н.А. Плешкова // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50 №2. – С. 343-350.

3. Лясковский В.Л. Методика сбора, оценки и выбора инноваций: перспективы реализации / В.Л. Лясковский, Д.А. Саркисян // Компетентность. – 2020. – №8. – С. 6-11.

4. Щепакин М.Б. Исследование поведения потребителей розничных торговых сетей строительной отрасли методом семантического дифференциала / М.Б. Щепакин, М.В. Облогин, В.М. Михайлова // Практический маркетинг. – 2020. – №1 (275). – С. 23-28.

5. Щепакин М.Б. Управление развитием розничной торговой сети в условиях обострения конкуренции / М.Б. Щепакин, Г.В. Михеев // Экономика и предпринимательство. – 2015. – №3. – С. 226–230.

6. Щепакин М.Б. Классификационный аспект к оценке факторов, влияющих на экономический рост бизнеса / М.Б. Щепакин, В.М. Михайлова, Ю.В. Баженов [и др.] // Экономика и предпринимательство. – 2017. – №2–1 (79–1). – С. 1227–1230.

7. Лебедева Т.Е. Совершенствование организационного климата организации в новых условиях деятельности рынка / Т.Е. Лебедева, Т.В. Крылова, А.И. Бердникова [и др.] // Московский экономический журнал. – 2020. – №5. – С. 798-805.

8. Белоусова М.Н. Применение нечеткого моделирования при оценке кризисного состояния предприятий / М.Н. Белоусова, А.А. Дашков // Вестник университета. – 2019. – №3. – С. 66-71.

9. Чуйкова Е.Н. Эвристический алгоритм формирования термов числовой лингвистической переменной / Е.Н. Чуйкова, В.В. Галушка // Бизнес-информатика. – 2018. – №3 (45). – С. 29-38.

10. Полещук О.М. Повышение эффективности оценки параметров технических систем на основе учета неопределенности разных типов / О.М. Полещук // Лесной вестник. – 2018. – Т. 22 №5. – С. 121-128.

11. Лабинский А.Ю. Использование нечеткой логики и нейронных сетей в системах автоматического управления / А.Ю. Лабинский, С.А. Нефедьев, Е.Н. Бардулин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2019. – №1. – С. 44-50.

12. Лабинский А.Ю. Использование нечеткой логики в решении задач классификации / А.Ю. Лабинский // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2018. – № 3. – С. 46-53.

13. Лабинский А.Ю. Многомерная классификация с использованием нечеткой логики / А.Ю. Лабинский // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2018. – №2. – С. 71-79.

14. Зёрнышкин А.Е. Модель оценки привлекательности поставщика товарно-материальных ценностей логистических компаний / А.Е. Зёрнышкин, А.С. Сизов, В.П. Добрица [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – №3 (76). – С. 95-106.

15. Аксентьев А.А. Разработка системы принятия решений на основе нечеткой логики для анализа лояльности клиентов и управления отношениями / А.А. Аксентьев // Проблемы теории и практики управления – 2020. – №6. – С. 72-88.

Статья поступила в редакцию 31.05.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 620.9:658.26

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0008

ИНТЕРНЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНОГО LPWAN

© 2021

Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник «Центра сопровождения научных исследований»

Пензенский государственный технологический университет

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

Зикирбай Куаныш, PhD докторант Института автоматизации и информационных технологий

Базарбай Лашын, PhD докторантка Института автоматизации и информационных технологий

Бактыбаев Мурат Кыргызбаевич, кандидат физико-математических наук,
ассоциированный профессор Института автоматизации и информационных технологий

Алимбаев Шынгыс, PhD, старший научный сотрудник

кафедры «Робототехника и технические средства автоматизации»

НАО КазННТУ имени К.И. Сатпаева

(050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22,

e-mails: kuanish_921@mail.ru, lashyn_7754@mail.ru, m.baktybayev@satbayev.university, chigiz_kopa@mail.ru)

Аннотация. Мировой энергетический сектор способствует интеграции возобновляемых источников энергии во взаимосвязанные энергетические системы. Управление спросом в энергетических системах привлекло значительное внимание промышленности и академических кругов к возможностям сформировать новые гибкие методики для реагирования на изменения в вводе возобновляемой энергии в систему. Однако зачастую концепции управления спросом все еще находятся на стадии экспериментов. Одним из препятствий для использования управления спросом является то, что текущая информационная инфраструктура в основном предназначена для централизованных систем и не соответствует требованиям УС. Чтобы преодолеть этот барьер, предлагается новая информационная инфраструктура, обозначенная как *Internet of Energy Things (IoET)*, позволяющая сделать УС практичным, основываясь на новейшей технологии беспроводной связи – маломощной глобальной сети (*LPWAN*). Основным преимуществом *LPWAN* перед общими услугами пакетной радиосвязи (*GPRS*) и зональным Интернетом вещей (*IoT*) является широкая зона покрытия, обеспечивающая минимальное энергопотребление и затраты на обслуживание. На этом фоне в статье кратко рассматриваются репрезентативные технологии *LPWAN* узкополосного Интернета вещей (*NB-IoT*) и технологии дальнего действия (*LoRa*), а также сравнение их с *GPRS* и технологиями зонального Интернета вещей. Для *IoET* предлагается архитектура «от беспроводной сети к облаку», основанная на использовании технических характеристиках *LPWAN*. Кроме того, в статье рассматривается потенциал *IoET* в различных сценариях приложений УС.

Ключевые слова: глобальная сеть, интернет вещей, узкополосный, технология *LoRa*, управление.

INTERNET OF ENERGY THINGS BASED ON WIRELESS LPWAN

© 2021

Mikhailov Petr Grigorievich, doctor of Technical Sciences, professor,
leading researcher at the Center for Support of Scientific Research

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baidukova proezd / Gagarina street, 1A / 11 e-mail: pit_mix@mail.ru)

Zikirbai Kuanysh, PhD, doctoral student of the Institute of Automation and Information Technologies

Bazarbai Lashyn, PhD, doctoral student of the Institute of Automation and Information Technologies

Baktybaev Murat Kyrgyzbaevich, candidate of Physical and Mathematical Sciences,
associate professor of the Institute of Automation and Information Technologies

Alimbaev Shyngys, PhD, senior researcher Department of "Robotics and technical means of automation"

NAO KazNRTU named after K.I. Satpayev

(050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Satpayev st., 22,

e-mails: kuanish_921@mail.ru, lashyn_7754@mail.ru, m.baktybayev@satbayev.university, chigiz_kopa@mail.ru)

Abstract. The global energy sector promotes the integration of renewable energy sources into interconnected energy systems. Demand management in energy systems has drawn considerable industry and academic attention to the potential to shape new flexible methodologies to respond to changes in the introduction of renewable energy into the system. However, demand management concepts are often still in the experimental stage. One of the barriers to using Demand Management (*Demand Management*) is that the current information infrastructure is primarily designed for centralized systems and does not meet the requirements of Demand Management. To overcome this barrier, a new information infrastructure, designated the Internet of Energy Things (*IoET*), is proposed to make the CA practical by building on the latest wireless technology, the Low Power Wide Area Network (*LPWAN*). The main advantage of *LPWAN* over General Packet Radio Service (*GPRS*) and Zonal Internet of Things (*IoT*) is its wide coverage, ensuring minimal power consumption and maintenance costs. Against this background, the article briefly examines representative *LPWAN*

technologies of narrowband Internet of things (*NB-IoT*) and long-range technologies (*LoRa*), as well as comparing them with *GPRS* and zone *IoT* technologies. For the *IoET*, a wireless-to-cloud architecture is proposed based on the *LPWAN* specification. In addition, the article discusses the potential of *IoET* in various CA application scenarios.

Keywords: global network, internet of things, narrowband, LoRa technology, management.

Введение. Под сильным давлением защитников окружающей среды, мировой энергетический сектор переходит к чистому и устойчивому развитию. Концепция интеллектуальных сетей получила широкое распространение в последнее десятилетие как средство интеграции более высоких объемов возобновляемых источников энергии [1, 2]. В 2013 г. правительство Казахстана объявило о новой концепции по переходу к зеленой экономике для демонстрации новых методов генерации чистой энергии [3]. Правительство и энергетические предприятия признают, что создание магистрали энергии – интернета через умные сети является ключевой стратегией продвижения новых технологий в области чистой энергии для новой энергосберегающей стратегии.

Чистая энергетическая система требует надежной коммуникационной инфраструктуры, которая может принимать большие вариации от возобновляемых источников энергии [4]. С точки зрения теории управления, максимизация наблюдаемости системы повышает ее управляемость. Следовательно, чтобы сбалансировать сложную энергетическую систему, необходимо получить обширную информацию как со стороны предложения, так и со стороны спроса. Информационный интернет – это надежный инструмент, с помощью которого можно получать информацию с минимальными затратами. Тем не менее, энергетические системы по-прежнему ограничены закрытой информационной средой из-за управленческих и технических проблем.

В частности, со стороны спроса, например, коммуникация инфраструктуры не завершена на уровне распределения электроэнергии [5], и еще меньше коммуникационной инфраструктуры доступной для использования системы на более низких уровнях электрического напряжения. Несмотря на наработки в смарт сети, за последнее десятилетие периферийные энергосети все еще не работают в сфере действия системных операторов.

Управление – это не единственная проблема, поскольку технологии также играют критически важные роли в вопросе управления спросом (УС). В современной архитектуре автоматизации энергетики, управление было разработано на основе стандартов для удовлетворения особых требований централизованных систем генерации и передачи электрической больших объемов электроэнергии. Благодаря быстрой интеграции и объединения энергопотребления, текущий дизайн не может соответствовать требованиям быстрых изменений, которые происходят по запросу разных потребителей. Между тем, у конечных пользователей нет необходимого опыта для эксплуатации и обслуживания таких сложных систем. Под влиянием этих обстоятельств, техническая сложность стала ос-

новным узким местом ограничения приема приложений УС, например, таких как реагирование на запросы в реальном мире [6, 7].

Чтобы преодолеть этот барьер, используется глобальная сеть с низким энергопотреблением (*LPWAN*), которое является новым техническим решением в области беспроводного управления в секторе связи. В отличие от *Wi-Fi* и *ZigBee*, *LPWAN* позволяет формировать объемные беспроводные соединения на большие расстояния с минимумом энергопотребления и обслуживания [8]. Два представителя технологии *LPWAN* – это узкополосный Интернет вещей (*NB-IoT*) [9] и технология *Long Range (LoRa)* [10]. *NB-IoT* – эта технология унаследована от сотовой связи и без проблем работает на существующих глобальных системах мобильной связи (*GSM*), и в дальнейшем предполагается эксплуатация в сети лицензионных диапазонов частот [11, 12].

Материалы и результаты исследования. 1. Технологии *LPWAN*. *LPWAN* представляет собой новую тенденцию в развитии технологий Интернета вещей. В отличие от *3G/4G* или *Wi-Fi*, эта система не ориентирована на эксплуатацию с высокими скоростями передачи данных или минимизации задержки. Для *LPWAN* определены основными такие показатели производительности, как энергоэффективность, масштабируемость и покрытие. На рынок вышло много разработчиков *LPWAN*, из которых двумя наиболее широко признанными являются технологии *LoRa* и *NB-IoT*. Поясним особенности указанных технологий.

1.1. Технология *LoRa*. Технология *LoRa*, разработанная *Semtech*, является наиболее широко используемой технологией для *LPWAN* в нелицензируемой полосе частот ниже 1 ГГц диапазона. Благодаря использованию нелицензионных диапазонов сеть *LoRa* открыта для клиентов, у которых нет разрешения от регуляторов радиочастоты. В результате сеть *LoRa* можно легко использовать в диапазоне более нескольких километров и затратами клиентов с минимальными вложениями и эксплуатационными расходами.

Технология *LoRa* значительно улучшила существующие технологии для достижения поставленной цели. Первый из них модуляция *LoRa* на основе схемы с расширенным спектром линейная частотная модуляция (ЛЧМ), в котором используются широкополосные линейные импульсы с частотной модуляцией, частота которых увеличивается или уменьшается в зависимости от кодированной информации. Максимальные потери связи (МПС) для модуляции *LoRa* достигают 148 дБ – на 20 дБ больше, чем у существующей связи на суб-ГГц – в чтобы увеличить дальность покрытия до километров и увеличить емкость сети. Модуляция *LoRa* имеет шесть факторов расширения, которые обеспечивают адаптивную скорость передачи данных.

Эта функция позволяет одновременно передавать несколько сигналов с разным расширением спектра по одному и тому же частотному каналу.

Другим улучшением является оптимизация сетевого протокола *LoRa* для датчиков с ограничением энергии, поскольку трафик восходящего канала обычно превышает трафики нисходящих каналов для сетей *IoT*. В этой среде спецификация технологии *LoRa* определила три режима разных окон приема данных для разных сценариев приложений.

К настоящему времени технология *LoRa* была протестирована в 56 странах на демонстрациях интеллектуальных счетчиков, отслеживания потребления электроэнергии, интеллектуальных устройств и интеллектуального здравоохранения. В Казахстане оператор связи Казахтелеком развернул сеть *LoRa*, которая охватывает всю страну. Кроме того, *LoRa Alliance*, насчитывающий более 300 организаций, сотрудничает с целью определения открытого глобального стандарта для безопасного и операторского подключения *LPWAN*, представляющего различные уровни экосистемы, от наборов микросхем, модулей, устройств и шлюзов до сетей и серверов приложений.

1.2. Технология NB-IoT. *NB-IoT* – это новая узкополосная система *IoT*, основанная на существующих функциях *LTE*. Технологический стандарт был объявлен в рамках партнерского проекта третьего поколения (*3GPP*) в 2016 году, который обещает обеспечить улучшенное покрытие для огромного количества недорогих устройств с низкой пропускной способностью и низким энергопотреблением в приложениях, устойчивых к задержкам.

Технология *NB-IoT* использует узкополосные каналы для обеспечения более высокой чувствительности и большого радиуса действия за счет ограниченной скорости передачи данных – обычно ниже нескольких сотен бит в секунду (бит/с). Демодулированный спектр намного шире, чем у отдельных передач, так что несколько восходящих линий связи могут функционировать одновременно. Базовая станция несет сложность одновременного декодирования нескольких узкополосных каналов, не зная точной частоты этих каналов. Преимущества технологии *NB-IoT* включают в себя расширенное покрытие внутри помещений, которое нацелено на МПЧ 164 дБ, и ее способность подключать огромное количество устройств с низкой пропускной способностью с адаптированной скоростью передачи данных [13, 14].

1.3. Сравнение с технологией GPRS. До *LPWAN* многие бизнес-приложения *IoT* работали в сетях *GPRS*. Технология *GPRS* обычно называется мобильной связью «2.5G»; последующие технологии *3G* и *4G* нацелены на высокие скорости передачи данных на устройство или на минимальную задержку, чтобы поддерживать высококачественную передачу голоса, изображения и видео. В таблице 1 сравниваются основные характеристики технологий *GPRS* и *LPWAN*.

1.4. Сравнения с областью технологии IoT. Что касается соединений между личными устройствами,

то на текущем рынке Интернета вещей доминируют *ZigBee* и *WiFi*. Эти технологии обладают разными функциями и характеристиками. *Wi-Fi* имеет высокую скорость передачи данных и низкую задержку, но его энергопотребление намного выше, чем у *ZigBee* [15, 16].

Таблица 1 – Сравнение технологий GPRS и LPWAN

Технология	Потребляемая мощность	Задержка	Покрытие	Скорость
GPRS	Высокая	Низкая	МСП 130 дБ	Максимум 171,2 кбит/с
LPWAN	Низкая		МСП 150 дБ	Адаптивный от 0,1 кбит/с до 250 кбит/с

В таблице 2 сравниваются расстояние связи, максимальное соединение и скорость передачи данных между *WiFi*, *ZigBee* и *LPWAN*. *LPWAN* обеспечивает гораздо большее расстояние покрытия и более широкие возможности подключения для сетей *IoT*.

Таблица 2 – Сравнение технологий ZigBee, WiFi и LPWAN

Технология	Расстояние связи	Максимальное соединение	Скорость передачи данных
ZigBee	10–75 м	≤ 255	Максимум 171,2 кбит/с
Wi-Fi	100 м	≤ 255	> 10 Мбит/с
LPWAN	3 км в масштабе города	≤ 50 000 (<i>NB-IoT</i>), ≤ 200 000 (<i>LoRa</i>)	Адаптивный от 0,1 до 250 кбит/с

2. Архитектура IoET на основе LPWAN. 2.1. Архитектура беспроводного подключения к облаку. В разделе 2 представлены ключевые особенности *LPWAN* и сравниваются *LPWAN* с технологиями сотовой связи (*GPRS*) и территорией Интернет вещей (*ZigBee / WiFi*). Основные преимущества *LPWAN* заключаются в его широком покрытии связи и низком энергопотреблении; его недостатками являются относительно низкая скорость передачи данных и ограниченные вычислительные возможности его оконечных устройств. Поэтому для *IoET* предлагается архитектура «от беспроводной сети к облаку», чтобы интегрировать облачные вычисления в конечные устройства через *LPWAN*, как показано на рисунке 1а [16, 17].

Как показано на рисунке 1, *IoET* обеспечивает связь между конечными устройствами и облачную платформу через беспроводные соединения. По сравнению с областью архитектуры *IoT*, показанной на рисунке 1б, основное различие заключается в экономии на шлюзе *IoT* области, связанном с сетевым уровнем шлюза. В результате архитектура *IoET* на основе *LPWAN* становится управляемой как для операторов сети, так и для конечных пользователей. Эта упрощенная сетевая топология удобно расширяет возможности интеграции датчиков и устройств управления в реальные энергетические системы. Кроме того, функции конечных устройств могут быть расширены за счет вычислительных мощностей, предоставляемых облачным центром.

Три функциональных уровня архитектуры беспроводной связи в облаке, как показано на рисунке 1а, обобщаются в следующих подразделах.

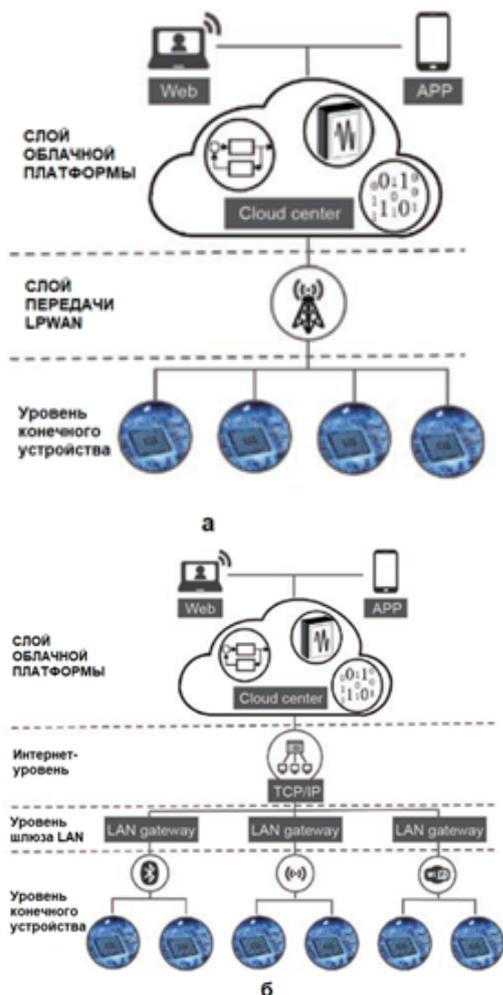


Рисунок 1 – Архитектура IoT на основе LPWAN(a); область архитектуры Интернета вещей LAN локальная (б) сеть

2.2. Уровень дистанционного зондирования и контроля. Фактические устройства, связанные с энергопотреблением, подключаются через уровень удаленного контроля и управления, который связан с огромным количеством датчиков энергии, контроллеров, встроенных компьютеров и модулей беспроводной связи. Датчики энергии отслеживают состояния устройств и отправляют их в облачный центр, а контроллеры доставляют инструкции, предоставленные облачным центром.

Встроенные системы компактно включают встроенный центральный процессоры (ЦП), память, периферийные устройства и беспроводные коммуникационные модули в качестве носителя датчиков энергии и контроллеров для межмашинного преобразования связи. Они также контролируют действия, связанные с требованиями к качеству обслуживания (*QoS*). Следовательно, в дополнение к функциям обнаружения и управления, услуги в реальном времени предоставляются через встроенные системы, чтобы повысить чувствительность *QoS* связи к беспроводной передаче и облачным вычислениям. Эта концепция, получившая название «туманные вычисления», заполняет технические пробелы облачных вычислений [18, 19].

2.3. Уровень передачи LPWAN. Устройства с распределенной энергией обычно географически рассредоточены, что затрудняет использование таких технологий Интернета вещей, как *ZigBee* и *WiFi*. При таких сценариях альтернативой становится *LPWAN*.

Уровень передачи *LPWAN* устанавливает беспроводные каналы между конечными устройствами и облачной платформой. В качестве репрезентативных технологий технологии *NB-IoT* и *LoRa* подходят для различных сценариев приложений. В отдаленных районах без покрытия сотовой связью сеть *LoRa* является практическим выбором, поскольку она образует звездообразную топологию вокруг оконечных устройств, которые обслуживаются одной базовой станцией (*BS*). В примере, показанном на рисунке 2а, базовая станция *LoRa*, установленная на подстанции в сельской местности, обменивается данными с распределенными фотоэлектрическими (*PV*) панелями. В городе с сотовыми сетями конечные устройства просто подключаются к облачному центру через сотовую сеть *NB-IoT*, выплачивая плату за передачу данных телекоммуникационным компаниям. На рисунке 2б показан сценарий, в котором облачный центр координирует бытовую технику и электромобили (*EV*), рассредоточенные по всему городу через сотовую сеть *NB-IoT*. Для систем с особыми требованиями к безопасности одним из решений является создание виртуальной частной сети с защищенными каналами в сотовой сети *NB-IoT*. Другой вариант – построить частную сеть *LoRa* для физической защиты соединений.

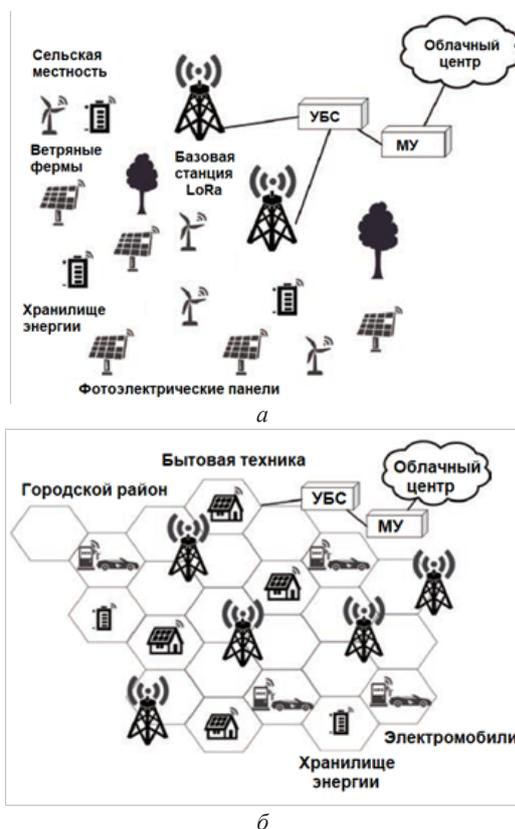


Рисунок 2 – Сценарии использования сети LoRa в сельской местности (а) и в городе (б) УБС: управление базовой станцией; МУ: мультисервисное управление

2.4. Слой облачной платформы. Уровень облачной платформы служит областью, на которой размещаются энергетические приложения посредством обмена данными и связи между устройствами. Более конкретно, платформа объединяет функции преобразования информации, интеграции и взаимодействия, как показано на рисунке 3. Соответствующие функции описаны ниже [20].

(1) Разбор протокола. *IoET* должен иметь дело с коммуникациями между различными конечными устройствами, имеющими разные протоколы. Нельзя реалистично предположить, что каждое устройство понимает все протоколы в сети. Вместо этого протоколы анализируются облаком. платформу, кроме полевых устройств. Поэтому удобно разделять фактические устройства и протоколы связи под централизованным управлением и обслуживанием. Для достижения большей гибкости облачная платформа также предоставляет программный интерфейс для включения определяемых пользователем протоколов для соединений с неизвестными устройствами.

(2) M2M-связь. M2M-коммуникация среди энергетических устройств – это основная функция *IoET*, позволяющая расширить взаимодействие сетей между устройствами. Ограничено беспроводной пропускной способности, шаблон «подписка/публикация» подходит для связи *M2M*. Многие технологии промежуточного программного обеспечения, управляемые событиями, имеют реализован этот шаблон, который обеспечивает практически неограниченную адресацию устройств и эффективное использование полосы

пропускания. Шифрование данных есть также поддерживается промежуточным программным обеспечением для повышения безопасности связи.

(3) Хранение и анализ больших данных. Доступ к огромному количеству датчики неизбежно приводят к огромным требованиям к хранению и анализу данных. Облачная платформа поддерживает доступ как к данным в реальном времени, так и к историческим данным для конкретных приложений энергосистемы. Доступ к данным в реальном времени осуществляется из базы данных памяти, чтобы удовлетворить требованиям низкой задержки и высокого параллелизма. Доступ к историческим данным осуществляется распределенными файловыми системами, чтобы удовлетворить потребности в хранении больших объемов данных и анализе больших данных.

(4) Взаимодействие с конечным пользователем. В настоящее время энергетические системы ограничено закрытой информационной средой, чтобы защитить управленческие операции. Однако негибкий обмен информацией затруднит решение разнообразных взаимодействий между различными ролями конечных пользователей в эпоху чистой энергии. Облачная платформа расширяет возможности взаимодействия пользователей, визуализируя энергетические устройства в облачный пул для обеспечения доступа независимо от платформы. Также настроен облачный инструмент для программирования рабочего процесса для определяемых пользователем операций путем редактирования графики, модели и данных визуализировал энергетические устройства на платформе.



Рисунок 3 – Структура слоя облачной платформы

Заключение. Технологии *NB-IoT* и *LoRa* – являются новыми приложениями беспроводной *LPWAN* в области связи и управления. По сравнению с *GPRS*, *LPWAN* является лучшим решением с точки зрения низкого энергопотребления и улучшенного покрытия. По сравнению с *IoT ZigBee* и *WiFi*, *LPWAN* обеспечивает массовые соединения на большие расстояния

при минимальных затратах на строительные работы и техническое обслуживание. *IoET*, основанный на *LPWAN*, обеспечивает широкие подключения энергетических устройств в рамках архитектуры «беспроводное соединение-облако» по очень низкой цене и без экспертных знаний. Таким образом, *IoET* расширяет доступность энергетической информационной систе-

мы, чтобы соответствовать требованиям приложений на стороне спроса.

Статья поступила в редакцию 20.06.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Farhangi H. The path of the smart grid. IEEE Power Energy M 2010;8(1):18–28.
2. Massoud Amin S, Wollenberg BF. Toward a smart grid: Power delivery for the 21st century. IEEE Power Energy M 2005;3(5):34–41.
3. <https://vie.korem.kz/uploads/koncepciya-po-perehodu.pdf> - КОНЦЕПЦИЯ по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике».
4. Bui N, Castellani AP, Casari P, Zorzi M. The Internet of energy: A web-enabled smart grid system. IEEE Network 2012;26(4):39–45.
5. Palensky P, Dietrich D. Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. IEEE Trans Ind Inform 2011;7(3):381–8.
6. Mohsenian-Rad AH, Wong VWS, Jatskevich J, Schober R, Leon-Garcia A. Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid. IEEE Trans Smart Grid 2010; 1(3):320–31.
7. Lopes JAP, Soares FJ, Almeida PMR. Integration of electric vehicles in the electric power system. Proc IEEE 2011;99(1):168–83.
8. Petajajarvi J, Mikhaylov K, Roivainen A, Hanninen T, Pettissalo M. On the coverage of LPWANs: Range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology. In: Proceedings of the 14th International Conference on ITS Telecommunications; 2015 Dec 2–4; Copenhagen, Denmark. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2015. p. 55–9.
9. Ratasuk R, Vejilgaard B, Mangalvedhe N, Ghosh A. NB-IoT system for M2M communication. In: Proceedings of the 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops; 2016 Apr 3–6; Doha, Qatar. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2016. p. 428–32.
10. Mikhaylov K, Petajajarvi J, Haenninen T. Analysis of capacity and scalability of the LoRa low power wide area network technology. In: Proceedings of the 22th European Wireless Conference on European Wireless; 2016 May 18–20; Oulu, Finland. Frankfurt am Main: VDE Press; 2016.
11. Zigbee, “Zigbee resource guide,” 2016, http://www.nxtbook.com/nxtbooks/webcom/zigbee_rg2016/#/0, (accessed February 24, 2017).
12. EnOcean, “EnOcean – The World of Energy Harvesting Wireless Technology,” 2015, <https://www.enocean.com/en/technology/white-papers/>, (accessed February 24, 2017).
13. <https://kapital.kz/tehnology/89788/sotovyue-operatory-vnedryayut-internet-veshchey.html>
14. Jin T, Noubir G, Sheng B. WiZi-Cloud: Application-transparent dual ZigBee-WiFi radios for low power internet access. In: Proceedings of 2011 IEEE INFOCOM; 2011 Apr 10–15; Shanghai, China. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2011. p. 1593–601.
15. Alanne K, Saari A. Distributed energy generation and sustainable development. Renew Sust Energ Rev 2006; 10(6): 539–58.
16. Djapic P, Ramsay C, Pudjianto D, Strbac G, Mutale J, Jenkins N, et al. Taking an active approach. IEEE Power Energy M 2007;5(4):68–77.
17. Albadi MH, El-Saadany EF. A summary of demand response in electricity markets. Electr Pow Syst Res 2008;78(11):1989–96.
18. Kempton W, Tomić J. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. J Power Sources 2005;144(1):268–79.
19. N. Sornin, M. Luis, T. Eirich, T. Kramp, and O.Hersent, “Lorawan specification,” LoRa Alliance, January 2015, <https://www.loraalliance.org/portals/0/specs/LoRaWAN%20Specification%201R0.pdf>, (accessed February 24, 2017).
20. I. Poole, “Weightless wireless — m2m white space communications-tutorial,” 2014, <http://www.radioelectronics.com/info/wireless/weightless-m2m-white-space-wireless-communications/basics-overview.php>, (accessed February 24, 2017).

УДК 004.514

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0009

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ НА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТАХ И ТЕРРИТОРИЯХ

©2021

Дали Фарид Абдулалиевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

(196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект 149, dalee@igps.ru)

Аннотация. Оптимально спроектированные графические пользовательские интерфейсы специализированных информационных систем, используемых в экстренных службах спасения на сложных объектах и территориях, являются ключевыми элементами в достижении высоких результатов повседневной работы специалистов. Графические пользовательские интерфейсы, являясь посредником между ментальной моделью пользователя и моделью реализации программных продуктов влияет на многие факторы эффективности работы специалистов, такие как скорость принятия решений, возможность появления ошибок, внутреннее психологическое состояние оператора. Проведённые исследования показали, что интерфейсы существующих специализированных программ нуждаются в переосмыслении самих принципов проектирования пользовательского взаимодействия в рамках особенностей структуры экстренных служб и отдельных групп сотрудников в частности, учитывая особенности их компетенций и условий труда. В статье предложена новая концепция проектирования интерфейсов информационных систем управления экстренных служб на сложных объектах и территориях, которая позволяет проектировать высокоэффективные информационные системы за счёт улучшений графических пользовательских интерфейсов.

Ключевые слова: графический пользовательский интерфейс, информационная система, программный продукт, концепция проектирования, программное обеспечение, сложные объекты, территории, экстренные службы.

DESIGN CONCEPT FOR EMERGENCY INFORMATION SYSTEMS ON DIFFICULT OBJECTS AND TERRITORIES

©2021

Dali Farid Abdulalievich, candidate of technical sciences, associate professor, deputy head of the department fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems

Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia

(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect 14, dalee@igps.ru)

Abstract. Optimally designed graphical user interfaces of specialized information systems used in emergency rescue services in complex objects and territories are key elements in achieving high results in the daily work of specialists. Graphical user interfaces, being an intermediary between the user's mental model and the software implementation model, affects many factors of the effectiveness of the work of specialists, such as the speed of decision-making, the possibility of errors, the internal psychological state of the operator. The studies have shown that the interfaces of existing specialized programs need to rethink the very principles of designing user interaction within the framework of the structural features of the fire service and individual groups of employees in particular, taking into account the peculiarities of their competencies and working conditions. The article proposes a new concept for the design of interfaces of information management systems for emergency services at complex objects and territories, which allows you to design highly efficient information systems by improving graphical user interfaces.

Keywords: graphical user interface, information system, software product, design concept, software, complex objects, territories, emergency services.

Введение. Подверженная воздействию стрессогенных факторов работа специалистов органов управления экстренных служб большого города требует создания комфортных условий одним из которых является оптимально спроектированное программного обеспечения (ПО), интерфейс которого отвечает специфике взаимодействия в экстремальных ситуациях. Используемые сегодня в противопожарной службе программные продукты (ПП) имеют ряд серьёзных недостатков, влияющих как на трудоёмкость обучения навыкам оперирования с ними, так и на скорость работы и количество ошибок. На низком уровне остаётся и такой показатель как субъективная удовлетворённость

взаимодействием с информационной системой (ИС). Это приводит к повышенной психологической нагрузке на оператора и сильному когнитивному сопротивлению [1 – 4].

Выходом из сложившейся ситуации является разработка нового подхода к проектированию человеко-ориентированных графических пользовательских интерфейсов (ГПИ) ПП экстренных служб спасения.

Целевую аудиторию по навыкам работы с ПП можно разделить на следующие группы: начинающие пользователи, пользователи со средними навыками и эксперты. По данным исследований [5 – 7]. Большинство пользователей, в том числе и специалистов

противопожарной службы, можно отнести к среднему самому большому сегменту, что иллюстрируется графиком распределения (рис. 1), показывающим связь уровня навыков с числом их обладателей.

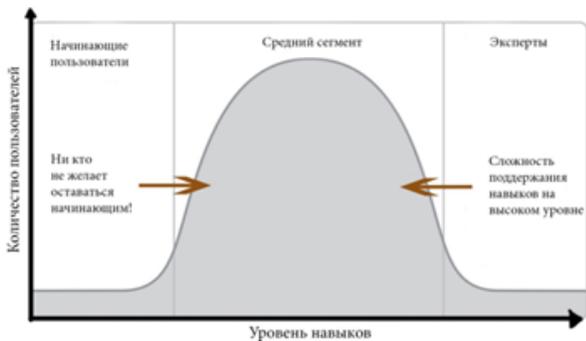


Рисунок 1 – Статистическая кривая распределения числа пользователей по их навыкам

Таким образом, большинство пользователей обладают адекватными навыками и стремятся к их приобретению, а уровень их знаний может либо возрастать, либо снижаться в зависимости от продолжительности работы с ПП.

Проектируемые сегодня ПП и их ГПИ ориентированы преимущественно на удовлетворение потреб-

ностей экспертов, причем программисты образуют ГПИ в соответствии со своей ментальной моделью, которая практически не отличается от модели реализации программ. Проблема заключается в том, что ментальная модель сотрудников экстренных служб имеет огромный понятийный разрыв с моделью реализации ПП, что в дальнейшем приводит к высокому уровню когнитивного сопротивления, усложняя процесс обучения и взаимодействия с программой. Поэтому проектированием средств взаимодействия ГПИ должны заниматься специально подготовленные профессионалы – проектировщики, специализирующиеся на человеко-ориентированных подходах [7]. Их главной задачей является создание так называемой модели представления, которая сглаживает разрыв между ментальной моделью пользователя и моделью реализации (рис. 2).

Чем ближе модель представления к ментальной модели сотрудников экстренных служб, тем комфортнее будет работа в ИС с минимальным когнитивным сопротивлением. Напротив, модель представления, приближенная к модели реализации, будет значительно затруднять освоение ПП и вызывать с максимальное когнитивное сопротивление.

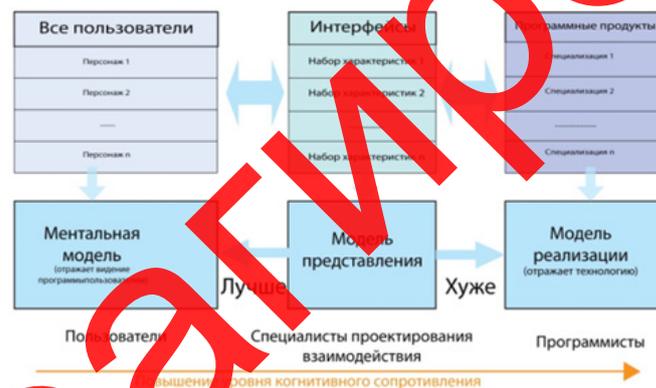


Рисунок 2 – Отношения между пользователями, интерфейсами, программами и их моделями

Материалы и результаты исследований. В настоящее время существует несколько основных концепций проектирования ГПИ, которые появлялись постепенно, основываясь на исследованиях и экспериментах в дисциплинах эргономики и инженерной психологии. С течением времени их основные идеи трансформировались и усложнялись шаг за шагом в направлении оптимизации.

Общим для таких концепций является то, что решаются задачи для удовлетворения собственных потребностей, которыми движут мотивы. После выделения этих потребностей и сравнения их с задачами, проектируются модели пользователей – персонажи. Затем моделируется их взаимодействие с системой – создаются сценарии. Концентрируясь на ограниченном количестве персонажей, можно сократить как объём ПП, так и количество опций, оставляя только необходимые. Такой целеориентированный подход позволяет добиться высоких результатов удовлетворённости пользователей ПП и снизить как когнитивное сопротивление при обучении, так и количество

ошибок. Также концепция позволяет преодолеть лавинообразный рост функционала ПП.

Построив схему эволюции концепций проектирования интерфейсов и сопоставив её с информационной деятельностью пользователей, можно заметить, что развитие идей проектирования основывалось на численных статистических или психоэмоциональных данных, и лишь в концепции находит своё единение в гармонично построенной системе (рис. 3).

Идея предлагаемого нового подхода в проектировании интерфейсов заключается в расширении существующих концепций с учетом дополнительных параметров внешней среды, а также характеристиками моделей пользователей (рис. 4). Данный подход позволит более детально учитывать особенности не только человеческой природы, но и специфики работы специалистов экстренных служб.

Любое взаимодействие с ИС состоит из различного вида нагрузок, воздействующих на специалистов в процессе работы: когнитивная, визуальная и моторика.



Рисунок 3 – Информационная деятельность пользователей в моделях проектирования интерфейсов

В процессе работы пользователь тратит энергию, количество которой зависит от испытываемой нагрузки и её вида. Идеальным интерфейсом является интерфейс, при взаимодействии с которым сумма затрачиваемой энергии будет стремиться к нулю [8].

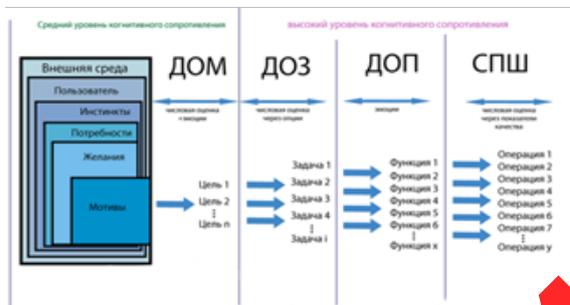


Рисунок 4 – Новая концепция проектирования интерфейсов

В реальности эта задача недостижима, но стремление к снижению затрачиваемой энергии является приоритетным направлением в создании оптимального ГПИ. Каждая из нагрузок потребляет различное количество ресурсов пользователя. При проектировании ГПИ ПП необходимо принимать во внимание то, каким нагрузкам в большей или меньшей степени будет подвержен оператор. Предлагаемая концепция проектирования интерфейсов основана на анализе реальных нагрузок, их оценке с помощью существующих метрик и последующем перераспределении приоритетов этих нагрузок. Рассмотрим каждый вид нагрузки отдельно в аспекте возможности проведения их количественной оценки.

Когнитивная нагрузка является самой затратной по отношению к человеческим ресурсам. Её уменьшение будет напрямую влиять на ощущение качества программного продукта. Программа не будет казаться эффективной, если для ее запуска требуется множество усилий, несмотря на то, что все функции выполняются безупречно.

Визуальная нагрузка напрямую связана с когнитивной, так как основным каналом восприятия внешнего мира для человека является зрение, а на обработку и интерпретацию полученной информации тратится около половины ресурсов мозга. Для быстрой обработки информации мозг использует стереотипы об окружающем мире. Опираясь на предыдущий опыт, он интерпретирует зрительные сигналы. Интегральная оценка визуальной нагрузки включает: оценку

интерфейса с позиции ограниченной центральной зрения; оценку интерфейса с позиции ограниченной периферического зрения; оценку соответствия теории геонтов (теория распознавания объектов) [1]; оценку соответствия принципу «affordance» [9]; оценку соответствия принципам гештальт-психологии (информационный поиск); оценку цветового воздействия, оценку контрастности интерфейса.

Для различных групп людей разные цвета могут иметь различные значения. Некоторые цвета «мультикультурны», но большая часть из них несет собственную информационную нагрузку. При проектировании интерфейсов необходимо учитывать информацию, которую могут означать цвета и оттенки.

Моторная нагрузка имеет немаловажное значение в поглощении энергии оператора. Количество производимых манипуляций, бессмысленный повтор и нерациональная расстановка элементов управления в интерфейсах приводит к потере времени, ошибкам и психологической и физической усталости операторов.

Рассмотренные метрики организуются в единую систему и встраиваются в разработанную концепцию проектирования интерфейсов (табл. 1).

Таблица 1 – Распределение метрик по характеристикам предлагаемой концепции проектирования интерфейсов.

Приоритет	Характеристики интерфейса	Метрики для оценки существующих интерфейсов
1	Скорость работы пользователя в программе	Модель GOMS [7], Закон Фиттса [12]
1	Количеством ошибок пользователей	Количество переработанной информации [13], Визуальная простота [12], Селективность [13]
2	Субъективная удовлетворенность	Визуальная простота [13], Структурность [11], Лаконичность [10],
3	Степень сохранения навыков взаимодействия	Насыщенность [13],
4	Скорость обучения навыкам оперирования интерфейсом	Сложности поиска [12], Избыточность данных [10],

Из метрик и оценочных параметров таблицы 1 строится множество точек с присвоением определённого веса в соответствии с разработанными моделями пользователей. Далее параметры объединяют в кластеры для получения областей концентрации характеристик моделей пользователей. Чем ближе к центру

кластера будут находиться параметры, тем больший приоритет при проектировании интерфейсов им необходимо уделять.

В результате проведённого анализа существующих подходов в проектировании интерфейсов и методик оценки их эффективности предложена новая концепция проектирования интерфейсов ПО для специалистов экстренных служб. В основе концепции лежит анализ нагрузок на пользователей и их перераспределение в соответствии с моделями специалистов и характеристиками внешней среды.

Заключение. Таким образом, применение новой концепции проектирования интерфейсов информационных систем экстренных служб на сложных объектах и территориях позволит повысить эффективность ИС за счёт улучшения их ГПИ, снизить риски ошибок при принятии управленческих решений, а также повысить индивидуальную удовлетворённость сотрудников от работы в ИС за счёт высокой скорости работы и интуитивно понятного дизайна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 688 с.
2. Головач В. Дизайн пользовательского интерфейса. Usethics, 2005-2008. – 97 с.
3. С. Уэйншенк 100 главных принципов дизайна. Как удержать внимание «Питер» 2011. 272 с.
4. K. S. Park. Human Reliability: Analysis, Prediction, and Prevention of Human Errors, Elsevier, New York, 2013, 340 p.
5. C. E. Shannon. “A mathematical theory of communication”, Bell System Technical Journal, 27:3 (1948), P. 379–423.
6. Б. С. Горячкин. «Оценка выходных экранных форм автоматизированной системы обработки информации управления», Международный научно-исследовательский журнал, 2016, №10, С. 24–27.
7. А. С. Звенигородский, О. А. Коломыщев. «Оценка визуальной информации в технических системах». Искусственный интеллект, 2011, №4, С. 19–23.
8. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks. BIM Handbook, Second edition. – NJ: Wiley, 2011. – 626 p.
9. P. M. Fitts. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. Journal of Experimental Psychology. 1954. Vol. 47(6), P. 381–391.
10. C. Stickel, M. Ebner, A. Holzinger. “The XAOS metric—understanding visual complexity as measure of usability”, 6th Symposium of the Work group Human-Computer Interaction and Usability Engineering on HCI in Work and Learning, Life and Leisure Austria, 2010. P. 156–167.
11. B. Shneiderman, C. Plaisant. Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction, 5th Edition, 2010. – 624 с.
12. T. Comber, J. R. Maltby. “Investigating layout complexity”, Design, specification, and verification of interactive systems, Proceedings of the Eurographics Workshop in Namur (Belgium, Namur, 5–7 June 2006). P. 136–146
13. I.P. Levin, S.L. Schneider. All frames are not created equal: A typology and critical analysis of framing effects. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 2002. P. 149–188.

Статья поступила в редакцию 26.05.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 681.5.011

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0010

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

© 2021

Сидоренко Андрей Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Цифровая экономика»
Дадькин Валерий Сергеевич, доктор экономических наук, профессор кафедры «Цифровая экономика»,
декан «Факультета отраслевой и цифровой экономики»
Брянский государственный технический университет
(241035, Россия, г. Брянск, бул. 50-летия Октября, 7, e-mails: ac1987@mail.ru, dadykin88@bk.ru)

Аннотация. Разработана модель системы управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия с учетом стадийности работ. Модель включает объект управления, подсистему принятия решений, в состав которой включены управляющее устройство, представленное программной системой поддержки принятия решений «Баланс обеспеченности подземными водами» и исполнительным устройством, представленным лицом, принимающим решения на геологоразведочном предприятии. Задающее воздействие на объект управления возникает с одной стороны в связи с реализацией на территории региона отраслевых и федеральных программ развития геологической отрасли и воспроизводства минеральных ресурсов, с другой стороны – в связи с необходимостью поддерживать определенный баланс обеспеченности видами сырья в регионе, в частности подземными водами. Отсюда возникает необходимость учета специфики проектов геологоразведочным предприятием по подземным водам ввиду наличия взаимосвязи участков в рамках одного крупного месторождения регионального масштаба. Портфелем проектов в таком случае требуется управлять, учитывая сетевой характер их взаимодействия, т.е. взаимного влияния на остальные участки месторождения. С другой стороны, при формировании портфеля проектов геологоразведочного предприятия необходимо учитывать стадийность и этапность геологоразведочных работ, их сезонный характер позволяет рассматривать модель системы управления с точки зрения дискретного времени.

Ключевые слова: минерально-сырьевой комплекс региона, теория управления, принцип обратной связи, модель управления портфелем проектов, портфель проектов, система моделирования, модель моделирования портфелем проектов.

MODELING OF THE PROJECT PORTFOLIO MANAGEMENT SYSTEM FOR A GEOLOGICAL EXPLORATION ENTERPRISE

© 2021

Sidorenko Andrey Sergeevich, senior lecturer, department of Digital Economy
Dadykin Valery Sergeevich, doctor of Economics, professor of the department of Digital Economy,
dean of the Faculty of Industrial and Digital Economy
Bryansk State Technical University
(7, 50-letiya Oktyabrya Blvd., Bryansk, 241035, Russia, e-mails: ac1987@mail.ru, dadykin88@bk.ru)

Abstract. A model of the project portfolio management system of the exploration enterprise has been developed, taking into account the stages of work. The model includes a control object, a decision-making subsystem, which includes a control device represented by a software decision support system "Balance of groundwater Availability" and an executive device represented by a decision-maker at a geological exploration enterprise. The defining impact on the management object arises on the one hand in connection with the implementation of sectoral and federal programs for the development of the geological industry and the reproduction of mineral resources on the territory of the region, on the other hand – in connection with the need to maintain a certain balance of availability of raw materials in the region, in particular underground water. Hence, there is a need to take into account the specifics of projects by a geological exploration enterprise for underground waters due to the presence of the interconnection of sites within one large regional-scale field. In this case, the project portfolio needs to be managed, taking into account the network nature of their interaction, i.e. mutual influence on the remaining sections of the field. On the other hand, when forming a portfolio of projects of a geological exploration enterprise, it is necessary to take into account the stages and stages of geological exploration, their seasonal nature allows us to consider the model of the management system from the point of view of discrete time.

Keywords: mineral resource complex of the region, management theory, feedback principle, project portfolio management model, project portfolio, modeling system, project portfolio modeling model.

Введение. Геологоразведочные предприятия в настоящее время с нормативно-правовой точки зрения выполняют работы по геологическому изучению недр и воспроизводству минеральных ресурсов. Их деятельность определяется федеральным законом РФ «О

недрах» и контролируется органами исполнительной власти в субъектах РФ с точки зрения соблюдения технических, экологических, санитарно-эпидемиологических требований при проведении геологоразведочных работ. Геологоразведочные работы отличаются

особой спецификой, связанной с их стадийностью и этапностью, использованием системы последовательных приближений при проведении работ, а также их сезонным характером. Полученная геологическая информация о недрах консолидируется в геологических отчетах, которые проходят экспертизу в государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) и территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых (ТКЗ), научно-технических советах (НТС) федеральных и региональных органов исполнительной власти в субъектах России [1, 2].

Специфика работы геологоразведочных предприятий определяет необходимость параллельного выполнения нескольких проектов геологического изучения недр. Под проектом геологического изучения недр (ПГИН) будем понимать совокупность геологоразведочных задач, содержащих соответствующее параметрам проекта ресурсное обеспечение и направленных на получение вещественной и интерпретированной геологической информации об объекте исследования для определения соответствия технико-экономиче-

ских параметров геологического объекта техническому заданию на проведение работ.

Актуальность проблемы формирования оптимального портфеля заказов отмечается многими исследователями [3-17].

Под портфелем геологоразведочных проектов (ПП) будем понимать совокупность проектов геологоразведочного предприятия, объединенных в сеть взаимосвязанных между собой проектов, направленных на приращение геологической изученности региона проведения работ.

Основная цель данной статьи – выполнить моделирование системы управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия с учетом стадийности работ. В качестве уточнения отметим, что в составе объекта управления рассматриваются геологоразведочные предприятия, выполняющие работы в части пресных и минеральных подземных вод.

Материалы и результаты исследования. Модель системы управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия представлена на рисунке 1.

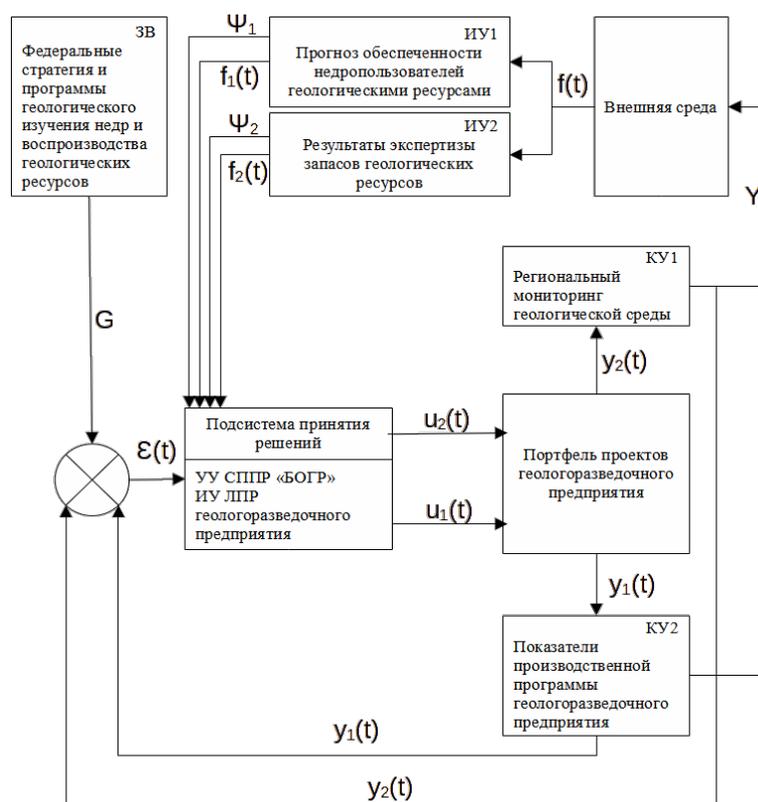


Рисунок 1 – Модель системы управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия

В составе модели возможно определить такие элементы, как объект управления (ОУ), представленный портфелем проектов геологоразведочного предприятия; подсистема принятия решений, состоящая из исполнительного устройства (ИУ), представленного лицом, принимающим решения на геологоразведочном предприятии, и устройства управления, представленного системой поддержки принятия решений «Баланс обеспеченности подземными водами».

Основными компонентами в составе системы

управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия можно назвать: объект управления (ОУ), управляющее устройство (УУ), исполнительное устройство (ИУ), контролирующее устройство (КУ), измерительные устройства (ИУ(i)), внешняя среда, обратная связь.

Согласно теории управления, данная модель построена на основе применения принципов компенсации и обратной связи.

С точки зрения теории управления, в рамках изу-

чаемого объекта исследования, ставится задача синтеза, которая выражается в определении алгоритма управления и реализация на основе этого алгоритма функциональной структуры системы управления, удовлетворяющей требованиям качества и точности [18].

Рассматриваемая система управления является активной в связи с тем, что неотъемлемым элементом проекта по вышерассмотренному определению является его ресурсное обеспечение, в структуру которого входит и кадровое обеспечение на каждый проект. Соответственно выполняется условие, при котором система признается активной, если в ее составе хотя бы один субъект обладает свойством активности, свободой выбора своего состояния [19].

Сущность управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия состоит в выработке и осуществлении такого воздействия на объект управления (портфель проектов геологоразведочного предприятия), при котором он переходит в новое качественное состояние или функционирует в установившемся приемлемом режиме работы.

Под субъектом управления в данном случае понимается устройство, осуществляющее управление, т.е. исполнительное устройство, представленное лицом, принимающим решения на геологоразведочном предприятии. Также в состав субъекта управления, по нашему мнению, целесообразно включить устройство управления, представленное системой поддержки принятия решений.

При проведении ранжирования проектов необходимо учитывать следующие критерии:

1. Исходное состояние минерально-сырьевой базы региона по данному виду сырья. Например, если рассматривается проект по подземным водам необходимо учесть состояние всех промышленно-сырьевых объектов, эксплуатирующих отдельные участки месторождения в составе горнопромышленной зоны, представленной месторождением регионального масштаба. Примером может являться участок Бяковский Брянского месторождения пресных подземных вод. Обозначим матрицей M_i исходное состояние i -ого объекта.

2. Потребность региона, горнопромышленной зоны, промышленно-сырьевого объекта в данном виде полезного ископаемого. Обозначим матрицей P_o исходную потребность i -ого объекта.

3. Годовая производительность предприятия по добыче данного вида сырья. Обозначим матрицей P_r исходную производительность i -ого объекта.

4. Расчетный коэффициент потерь полезного компонента kr_i в i -ом году.

Если учитывать, что программа оценивается по n критериям, а x_j – значение каждого j -ого критерия, w_j – вес каждого j -ого критерия, то ранжирование месторождений выполняется после проведения оценки по формуле 1.

$$Pr_i = \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad (1)$$

В условиях ограниченного финансирования геологоразведочных работ целесообразно ранжировать проекты по значению параметра Pr_i , затем включать в программу работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы те проекты, значение Pr_i которых при ранжировании окажется в пределах объема финансирования мероприятий программы.

Расчеты с использованием модели системы управления портфелем проектом геологоразведочного предприятия позволяют определить месторождения, перспективные для инвестирования. При ранжировании месторождений необходимо учитывать стадийность геологоразведочных работ, достоверность запасов и прогнозных ресурсов от высшей к низшей представлена в следующей последовательности (табл. 1).

Таблица 1 – Ранжирование стадий разработки месторождений по критерию перспективности

Стадия геологоразведочных работ	Ранг по критерию Pr_i
A+B	1
A+B+C ₁	1
B+C ₁	1
C ₁	2
C ₂	3
P ₁	4
P ₂	5
P ₃	6

Результаты проведенной оценки с использованием элементов модели системы управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия приведены в таблице 2.

Анализ данной таблицы показал, что наиболее перспективным объектом в составе портфеля проектов геологоразведочного предприятия по совокупному (интегральному) критерию Pr_i является Павловский участок (Унечское месторождение), вид сырья – фосфатные титан-циркониевые россыпи. Данное месторождение является комплексным, другими словами помимо основного компонента (фосфориты) в его составе выделяются сопутствующие полезные ископаемые – титан и цирконий, производство работ по которым является наиболее перспективным.

Также следует отметить перспективность объекта «Участок Отрадное» в Новозыбковском районе Брянской области по стекольному сырью и кварцевым пескам. Данный объект по критерию Pr_i обладает высоким уровнем перспективности ввиду комплексности данного месторождения и перспектив обнаружения сопутствующих полезных ископаемых.

Участок Отрадное выявлен при проведении поисково-оценочных работ на стекольные пески в пределах Новозыбковской прогнозной площади. Площадь участка составляет 179 тыс. м². При определении перспективности учитывали также критерии инфраструктурной (наличие дорожного сообщения) и ресурсной (кадровые, технические, технологические, финансовые ресурсы) обеспеченности при разведке месторождения.

Таблица 2 – Результаты оценки запасов и прогнозных ресурсов в составе модели системы управления минерально-сырьевым комплексом региона

Наименование объекта, административный район	Вид сырья, полезное ископаемое	Ранг по критерию Pr_i	Стадия геологоразведочных работ - запасы, ресурсы, млн. т (m^3)	Мощность, от-до (средняя), м	
				вскрыши	Полезной толщи
Участок Великая Топаль, Климовский р-н	Фосфатные титан-циркониевые россыпи, фосфориты, титан, цирконий	5	$P_1 - 1\,444,9$	13,0-80,6 (57,6)	1,0-5,0 (2,8)
Участок Рюхово, Унечский р-н	Фосфоритовые руды Фосфориты	6	$P_1 - 989,7$	10,0-54,8 (32,6)	1,0-6,4 (2,6)
Участок Верхополье Карачевский р-н	Цементное сырье, карбонатные породы	8	$P_1 - 104,0$	(1,2)	5,2-16,15 (13,4)
Навлинский участок Навлинский р-н	Формовочные материалы (кварцевые пески)	7	$P_1 - 191,5$	0,2-6,0 (2,1)	1,7-9,7 (4,7)
Выгоничский участок Выгоничский р-н	Формовочные материалы (кварцевые пески)	9	$P_1 - 57,9$	2,8-15,3 (6,2)	0,9-13,5 (5,5)
Павловский участок, Унечский р-н	Фосфатные титан-циркониевые россыпи, титан, цирконий	1	$C_1 - 115,8$ $C_2 - 21,52$	2,7-12,1 (7,02)	(2,88)
Участок Отрадное Новозыбковский р-н	Стекольное сырье, кварцевые пески	2	$C_1 - 5,704$ $C_2 - 13,798$	(6,68)	(5,85)
Свенское, Брянский р-н	Формовочные материалы (кварцевые пески)	3	$V+C_1 - 46,2$	0,2-11,7 (3,9)	1,3-13,7 (6,7)
Погребское Брасовский р-н	Керамзитовое сырье (трепел)	4	$A+V+C_1 - (7,2)$	(2,58)	5,8-16,0 (9,9)

Заключение. Таким образом, авторами проанализированы основные термины проектного управления в геологоразведочном производстве. В частности, дано определение проекта, как совокупности геологоразведочных задач, содержащих соответствующее параметрам проекта ресурсное обеспечение и направленных на получение вещественной и интерпретированной геологической информации об объекте исследования для определения соответствия технико-экономических параметров геологического объекта техническому заданию на проведение работ.

Под портфелем проектов понимается совокупность проектов геологоразведочного предприятия, объединенных в сеть взаимосвязанных между собой проектов, направленных на приращение геологической изученности региона проведения работ.

Авторами разработана модель системы управления портфелем проектов геологоразведочного предприятия с учетом стадийности работ. Данная модель позволяет выполнять ранжирование месторождений на территории региона с учетом перспективности их включения в портфель проектов геологоразведочного предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/docs/strategii_i_doktriny/strategiya_razvitiya_geologicheskoy_otrasli_do_2030_goda/ Дата обращения 03.03.2021.
2. Государственная программа Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 322). Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/9613.html> Дата обращения: 03.03.2021.
3. Тяпушова Е.В. 2012 Вестник БФУ им. И. Канта 3 с. 119-124.
4. Рязанов М.А. 2011 Вопросы инновационной экономики 9(9) С. 3-12.
5. Рой Л.В., Третьяк В.П. 2009 Анализ промышленных рынков стр. 442.

6. Панасюгина Е.В. 2016 Инновационно - промышленный потенциал развития региональной экономики 1 с. 352-355 Меркумов Ю.С. 2002 Организация и финансирование инвестиций (Москва ИНФРА-М).
7. Лейберт Т.Б. 2008 Экономика 9(46).
8. Лаженцев В.Н. 2013 Труды Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (РАН) 13 с. 107-113.
9. Гиляровская Л.Т., Лысенко Д.В., Ендовицкий Д. 2008 Комплексный экономический анализ перспектив хозяйственной деятельности.
10. Геращенко Т. М. 2017г. К оценке эффективности инновационного развития машиностроительного предприятия стратегия CBC Web of Conferences 35 01119 ICIE-2017.
11. Геращенко Т.М. 2014 Т.М. Ученые записки Петрозаводского государственного университета 1(138) с. 94-99.
12. Дадькина О.В. 2016 Применение геоинформационных систем в геолого-экономическом мониторинге Минерально-сырьевых ресурсов России Экономика и управление С. 64-67.
13. Дадькина О.В. 2015 Вестник Белгородского университета экономики и права кооперации 3(55) с. 291-298.
14. Дадькин В.С. 2013 Минеральные ресурсы России Экономика и управление 4 с. 68-71.
15. Дадькин В.С. 2013 Вестник Московского государственного областного университета Серия: Экономика 1 18-23.
16. Ахмет В. Х. 2011 Разведка и охрана полезных ископаемых 11 49-54.
17. 2017 О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ.
18. Давыдов А.В. Основы теории управления. Екатеринбург: УГТУ, 2008.-128с.
19. Закон РФ "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1 (в редакции от 08.06.2020 N 179-ФЗ). Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/ Дата обращения 03.03.2021.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ молодым ученым (МД-2409.2020.5)

Статья поступила в редакцию 19.07.2021
Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 004.5:004.8

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0011

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

© 2021

Трифонов Андрей Андреевич, аспирант

Юго-Западный государственный университет

(305040, Россия, Курск, ул. 50 лет Октября, 94, e-mail: voldraf@mail.ru)

Петрунина Елена Валерьевна, кандидат технических наук,

декан факультета прикладной математики и информатики

Московский государственный гуманитарно-экономический университет

(107150, Россия, Москва, Лосиноостровская, 49, e-mail: petrunina@mggeu.ru)

Лазурина Людмила Петровна, доктор биологических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Биологической и химической технологии»

Курский государственный медицинский университет

(305041, Россия, Курск, К. Маркса, 3 e-mail: ku3bmin@gmail.com)

Аннотация. Современные методы нейровизуализации играют важную роль для эффективного использования роботизированных устройств в нейрореабилитации и открывают путь для разработки новых решений, направленных на повышение терапевтической эффективности лечения. Эффективное использование реабилитационных роботов требует тщательно разработанного протокола реабилитации. Для достижения этой цели в последние десятилетия было проведено большое количество работ, направленных на исследование процессов обучения двигательным навыкам. Фундаментальным аспектом планирования роботизированной терапии, направленной на ускорение сенсомоторного восстановления, является четкое понимание того, как мозг управляет движениями, и какие механизмы применяются для обучения новым навыкам. В данной статье представлен анализ современных тенденций в области реабилитации постинсультных больных, рассмотрены методы и модели нейрореабилитации. Проведен анализ мультимодальных оценок механизмов реабилитации, дающих возможность контролировать эффективность применения протокола роботизированной реабилитации на основе клинических шкал. Проведенный анализ показал, что в настоящее время в реабилитации нижних конечностей постинсультных больных широко используются экзоскелеты с программным управлением, и актуальной является проблема разработки биотехнической системы нейрофизиологической реабилитации с роботизированным устройством, позволяющей повысить эффективность реабилитации постинсультных больных посредством адаптации алгоритма управления робототехническим устройством к текущему функциональному состоянию пациента.

Ключевые слова: роботизированная нейрореабилитация, модели нейрореабилитации, методы нейровизуализации, интерфейс мозг-компьютер, экзоскелеты.

CONTEMPORARY TENDENCES OF THE ROBOT-ASSISTED NEUROREHABILITATION

© 2021

Trifonov Andrej Andreevich, post-graduate student

Southwest State University

(305040, Russia, Kursk, 50 Let Oktyabrya Street, 94, e-mail: voldraf@mail.ru)

Petrunina Elena Valerievna, candidate of technical sciences, dean of faculty of applied mathematics and informatics

Moscow State University of Humanities and Economics

(107150, Russia, Moscow, Losinistrovskaya Str. 49, e-mail: petrunina@mggeu.ru)

Lazurina Lyudmila Petrovna, doctor of biological sciences, associate professor,

head of the department of "Biological and Chemical Technology"

Kursk State Medical University

(305041, Russia, Kursk, Karl Marx street No.3, e-mail: ku3bmin@gmail.com)

Abstract. State-of-the-art methods of neurovisualization are instrumental for the efficient application of robotic devices in neurorehabilitation. They pave the way for the development of further robotics solutions aiming to enhance the effectiveness of therapeutic treatments. A thoroughly developed rehabilitation training protocol is imperative for the effective application of robots in patient care. In recent decades, a tremendous number of studies have been conducted in order to achieve this objective. They were aimed at gaining a full understanding of motor learning processes. An insight into both the way the brain controls movements and the mechanisms which are applied to learning new skills are considered to be fundamental aspects of rehabilitation therapy planning. This article examines current trends in the field of rehabilitation of post-stroke patients and highlights methods and models of neurorehabilitation based on noninvasive methods of neurovisualization. An exhaustive analysis of multimodal assessments of the rehabilitation mechanisms' efficiency was performed. It enabled the estimation of changes in brain activity before/after and during the application of the robot-assisted rehabilitation protocol based on clinical scales. According to the analysis performed, software-assisted exoskeletons are recognized as the most widespread technologies for rehabilitation of the lower extremities of

post-stroke patients.

Keywords: robot-assisted neurorehabilitation, neurorehabilitation methods, neurovisualization methods, computer-brain interface, exoskeletons.

Введение. Роботизированные тренировки играют ключевую роль в нейрореабилитации перенесших инсульт лиц. Робототехническую систему можно запрограммировать и обучать на основе парадигм моторного обучения и управления мозгом. Кроме того, роботы способны воспроизводить точные движения конечностей с учетом сил и моментов на основании, биоинформации о характеристиках движения. Более того, очевидно, что поведенческий результат реабилитационного лечения не позволяет составить четкую картину сложного механизма нейропластических изменений, влияющих на выздоровление, поэтому для характеристики нейронных коррелятов используются современные методы нейровизуализации. Последние исследования подтверждают эффективность применения роботизированных устройств в сфере нейрореабилитации и открывают пути для разработки новых решений в данной области [1 – 4].

Эффективное использование реабилитационных роботов для ухода за пациентами требует тщательно проработанного протокола реабилитации. Для достижения этой цели в последние десятилетия было проведено большое количество исследований процессов обучения двигательным навыкам. Фундаментальным аспектом планирования роботизированной терапии, направленной на ускорение сенсомоторного восстановления, является изучение процесса управления движением, а также изучение механизмов формирования новых двигательных навыков. В данном контексте решающую роль играет разработка наиболее подходящей и эффективной стратегии контроля, эта **цель** может быть достигнута путем использования последних достижений в области нейробиологии человека.

Материалы и результаты исследования. *Методы и модели нейрореабилитации.* В результате проведенных исследований в области физиологии человека, биомеханики и управления были сформулированы теоретические основы формирования и генерации процесса движения. Первый нейробиологический результат использования сенсомоторной нейрореабилитации основывался на влиянии двигательной активности на процесс моторного обучения. Другие исследователи пытались пойти дальше, ранжируя вариативность в зависимости от ее влияния на процесс выполнения задачи, и пришли к заключению, что различная степень вариативности по-разному влияет на процесс обучения, если применяется в различных пространствах динамического многообразия [5].

Следующий нейробиологический результат, на который стоит обратить внимание, связан с наблюдением пациента за действием – виртуальной реальностью (*VR*). Было продемонстрировано, что визуальная обратная связь, полученная в процессе наблюдении за действием, выполняемым другим человеком, способствует улучшению моторного обучения. Маттар и

Гриббл показали, что эффективность реабилитационных тренингов у пациентов, которые первоначально просмотрели видео с образцами движений значительно выше, чем у пациентов, которые не просматривали ни одного видео. В качестве возможного объяснения авторы предположили, что наблюдение за действиями может быть связано с приобретением нейронного представления динамики задачи, что также подтвердилось другими экспериментами. Таким образом, разумно полагать, что интеграция этапов наблюдения за действиями в программу роботизированной нейрореабилитации может привести к большему эффекту.

Эти выводы дали стимул развитию методики совместного наблюдения за действиями и пассивное проприоцептивное обучение, что дало основания для обсуждения роли проприоцептивного обучения (или, в более общем смысле, сенсорного обучения) в процессе восстановления. Сенсорное обучение тесно связано с моторным обучением, так как моторное обучение формирует сенсорные сети в головном мозге, а сенсорное обучение изменяет моторные области. В частности, сенсорное обучение приводит к изменениям в моторных сетях в головном мозге, что связано с пластичностью сенсорных систем, которая определяется афферентными сигналами с периферии и корковыми проекциями из моторных областей.

Несмотря на широкий фронт исследований, до сих пор не подтверждена возможность получения информации о механизмах, задействованных мозгом в процессе сенсомоторного восстановления. Новыми инструментами для решения этой проблемы могут послужить модели, относящиеся к области компьютерной нейрореабилитации. Парадигма компьютерной нейрореабилитации состоит из математического моделирования механизмов, лежащих в основе процесса реабилитации, с целью изучения биологических деталей восстановления и оптимизации индивидуального лечения пациентов. Каждая модель характеризуется тремя характеристиками: (1) использование в качестве входных данных количественного описания сенсомоторной активности, полученное с помощью моделирования или взаимодействия с роботами; (2) модель основана на описании вычислительных механизмов активности – зависимой пластичности; (3) получение количественных значений показателей функционирования. Некоторые варианты таких моделей были разработаны для конкретных случаев, однако, их можно адаптировать к роботизированной нейрореабилитации для лечения пациентов [6, 7].

Несмотря на это, необходимо также учитывать возможность мозга автономно выбирать определенную стратегию управления моторикой для выполнения задачи. Например, при обучении стабилизации можно выбрать либо стратегию, которая больше полагается на управление с обратной связью, либо стратегию, ос-

нованную на жестком управлении [5]. Следовательно, изучение и моделирование стратегий и механизмов переключения между ними позволит более эффективно прогнозировать результаты применения конкретной стратегии. Использование интегрированных моделей сенсомоторного контроля во время роботизированной нейрореабилитации позволит создать роботов, полностью адаптированных к уровню поражения пациента и подстраивающихся к его движениям.

Интерфейсы мозг-компьютер (ИМК) изначально задумывались как неинвазивные устройства, обеспечивающие связь, в то время как их инвазивные аналоги, часто определяемые как интерфейсы мозг-машина (ИМТ), были нацелены на обеспечение определенного уровня моторного контроля у полностью парализованных или серьезно ослабленных людей. Учитывая их способность изменять и формировать пластичность нейронов, в последнее время ИМК и ИМТ стали использоваться в нейрореабилитации лиц с двигательными нарушениями часто в сочетании с другими терапевтическими подходами, включая манипуляторы или экзоскелеты [6, 7]. Например, в недавнем исследовании группа Миллана показала, что использование функциональной электростимуляции (ФЭС) на основе ИМК могло обеспечить значительное функциональное восстановление у пациентов с инсультом, причем эффект сохранялся через 6 – 12 месяцев после окончания терапии [6]. В этом исследовании использование ИМК для определения намерения движения запускало активацию мышц рук посредством ФЭС, было показано, что восстановление моторики сопровождалось значительной реорганизацией коры.

В другом исследовании группа Контрерас-Видаля изучала ходьбу человека по беговой дорожке с контролем ходящего аватара с помощью ИМК и без него, а также с помощью локализации источника данных ЭЭГ. Авторы показали, что использование ИМК приводит к активации коры головного мозга, в отличие от тренировок без ИМК, что свидетельствует о потенциальной пользе терапии на основе ИМК для стимулирования коркового взаимодействия во время реабилитации

Недавно группы Рамос-Мургиалдай и Кармена разработали новый «гибридный» ИМТ, в котором внутрикортикальные сигналы и ЭМГ использовались для управления роботизированным экзоскелетом верхней конечности с несколькими степенями свободы у пациента с тяжелым хроническим инсультом. Было показано, что реабилитация с помощью этой системы позволила достичь значительного восстановления моторики, которое сохранялось через 6 месяцев [7].

Эти примеры показывают, что ИМК и ИМТ могут быть успешно использованы для повышения эффективности нейрореабилитации за счет более сильных кортикальных изменений, что открывает пути для разработки новых комбинированных и персонализированных стратегий реабилитации, в которых декодирование мозговой активности по замкнутому циклу играет ключевую роль для максимального сенсомо-

торного восстановления.

Мультимодальная оценка восстановления. В дополнение к кинематическому и кинетическому мониторингу реабилитационных тренировок также необходимо оценить результаты протокола нейрореабилитации. Обеспечение надежной оценки сенсомоторных компонентов важно для оптимизации шансов пациента на выздоровление. Несмотря на это количественные оценки реабилитации с помощью роботизированных устройств не всегда выполняются в клинической практике. Более того, незначительные сенсорные и моторные аномалии практически не обнаруживаются клиническими измерениями. В этом контексте реабилитационная робототехника также может повысить клиническую оценку благодаря добавлению количественных показателей.

Многие работы в области нейрореабилитации с использованием роботизированных решений не учитывали полную характеристику активности мозга. На сегодняшний день уже проведены некоторые исследования в данном направлении, однако необходимо охарактеризовать нейронную основу восстановления сенсомоторной функции, управляемой новыми роботизированными устройствами. Особое внимание необходимо сфокусировать на изучении процесса формирования структурных и функциональных свойств мозга в ходе выполнения программы реабилитации. Фактически, характеристика реорганизации мозга в сочетании с адекватной оценкой поведенческих характеристик позволит провести количественную оценку процессов реабилитации, управляемых роботом.

Текущая клиническая процедура оценки двигательных аномалий в основном представлена качественными оценками, выполняемыми операторами-специалистами с использованием клинических шкал. Применение этих шкал состоит из предложения пациентам серии заданий, тестов и анкет, а также процесса наблюдения за их выполнением и оценивания результатов.

Разработанные клинические шкалы можно разделить на шкалы для измерения двигательной активности и шкалы для оценки сенсорных функций. Среди первой группы наиболее широко используются: «Тест качества навыков верхних конечностей (*QUEST*)» для оценки моделей движений и функции рук [8], «Модифицированная шкала Ашворта (*MAS*)» для измерения степени спастичности верхних конечностей на основе сопротивления мышц пассивным растяжениям [9], «Оценка Фугля-Мейера (*FMA*)» для количественного измерения сенсомоторных нарушений [10], «Оценка односторонней функции верхних конечностей Мельбурна (*MAUULF*)» для оценки качества движений [11] и, наконец, «Тест «Box and Block Test» (*BTB*)» для оценки степени ловкости рук [12]. Кроме того, клинические рейтинговые шкалы, утвержденные и в основном используемые для измерения сенсорных функций, – это «*Nottingham Sensory Assessment*» [13] или «*Rivermead Assessment of Somatosensory Performance*» [14] и тест «*Joint Position Matching (JPM)*» [15], пред-

назначенный для измерения остроты восприятия позиции порога обнаружения пассивного движения (*TTDPM*) для тестирования кинестезии [16], и тест камертона для измерения чувствительности к вибрации [17].

Все вышеупомянутые сенсорные клинические шкалы применяются также и к нижним конечностям. Другие шкалы, используемые для нижней конечности, - это тест «пять раз сесть, чтобы встать» [18], тест «встань и иди» (*TUG*) [19], тест на двухминутную ходьбу и тест на ходьбу на десять метров [20]. Для проверки способности контролировать равновесие при спокойном стоянии наиболее распространенными клиническими шкалами являются тест Ромберга и шкала баланса Берга [5]. Несмотря на то, что такие шкалы широко приняты и признаны во всем мире и фактически обеспечивают важные измерения сенсомоторной функции пациентов, они в основном качественные и имеют низкое разрешение. По этой причине они могут оказаться субъективными и трудно воспроизводимыми и, следовательно, не подходят для обеспечения точных и надежных измерений. Ограничением к применению этих тестов является дефицит объективных технологий измерения во многих клинических условиях. Известно, что широко используемые инструменты, такие как ручные гониометры, не обладают чувствительностью и надежностью.

Учитывая низкое разрешение таких шкал, большинство пациентов получает приблизительный балл, не всегда адекватно характеризующий их состояние; кроме того, значения, которые располагаются ниже порога чувствительности шкалы, остаются невидимыми, что не позволяет отследить динамику процесса. Другой недостаток заключается в том, что многие операторы считают процесс администрирования весов слишком сложным и трудоемким.

Последние достижения в области тактильных интерфейсов, предназначенных для сенсомоторной реабилитации, послужили толчком к разработке инновационной роботизированной оценки. На самом деле такая технология представляет систему измерений, которая позволяет точно и непрерывно измерять положения, скорости и силы суставов, контролировать их кинематические и кинетические параметры, а также обеспечивать надежную процедуру сбора больших наборов нормативных данных с высоким разрешением. Роботизированные устройства способны непрерывно контролировать процесс лечения, обеспечивая онлайн-оценку непрямых движений, сокращая время администрирования и обеспечивая немедленную обратную связь. Мониторинг в реальном времени может не только значительно сократить время, необходимое для оценки двигательных улучшений пациентов, но также стать важным преимуществом процесса нейрореабилитации с помощью роботов.

В последнее время появились новые способы оценки энергопотребления и психологического состояния человека путем подключения датчиков роботов и внешних устройств. Хорошо известно, что невроло-

гические заболевания, влияющие на походку, увеличивают расход энергии до 70% по отношению к здоровым людям. Эта количественная оценка получена с помощью непрямой калориметрии с использованием экзоскелета. Кроме того, в стадии разработки находятся новые методы оценки, использующие возможности роботов. Что касается возможности оценки психологического состояния, то в этой области также проводятся исследования по взаимодействию, поскольку такая оценка может иметь решающее значение для количественного мониторинга уровня вовлеченности и мотивации пациентов. Для этого с помощью внешних устройств измеряются вариабельность сердечного ритма, частота дыхания, реакция проводимости кожи и температура кожи с последующим сопоставлением этих показателей с кинематической и динамической информацией, поступающей от робота [5].

Роботизированные средства нейрореабилитации позволяют улучшить качество оценки, что важно для изучения влияния реабилитационного лечения на сенсомоторные функции. Роботизированные измерения могут потенциально превзойти субъективные клинические оценки, их точность ограничена только техническими характеристиками датчиков.

Сенсомоторную работу также можно оценить с помощью записей активности мозга или мышц. Фактически, учитывая сложность функциональной реорганизации мозга в ответ на заболевания центральной нервной системы, крайне важно изучить активность мозга в высоком временном (порядка миллисекунд) и пространственном (порядка 1 см или меньше) разрешении. Таким образом, объединение этих двух шкал увеличивает возможность понимания процесса реабилитации. Высоких разрешений можно достичь путем комбинации записей электроэнцефалографии высокой плотности (*HDEEG*) и методов визуализации источников, что позволяет надежно реконструировать сети состояния покоя мозга, а также измерить электрофизиологическую подкорковую активность. Кроме того, *HDEEG* недорога и портативна по сравнению с другими неинвазивными методами нейровизуализации, такими как магнитоэнцефалография (МЭГ) или функциональная и структурная магнитно-резонансная томография (МРТ).

В дополнение к общему исследованию деятельности, связанной с выполнением задач важно также оценить функциональную связность, как во время выполнения двигательных заданий, так и в состоянии покоя. Функциональная связность представляет собой значимую статистическую взаимосвязь между отдельными областями мозга, и любой дисбаланс, возникающий в свойствах функциональной связности, может лежать в основе нейропатологических процессов и нарушений. Более того, функциональная связность во время спонтанной колебательной активности, измеряемой другими методами, например, такими как функциональная МРТ в состоянии покоя, изменяется после проприоцептивной тренировки с роботизированным манипулятором. Кроме того, функциональная связность

предсказывает поведенческие результаты реабилитационных протоколов, восстановление двигательной функции у пациентов с инсультом, а также коррелирует с уровнем клинической инвалидности у пациентов с ранним ремитирующим рассеянным склерозом. Таким образом, оценка функциональной связности до и после реабилитации является ценным инструментом для оценки эффективности протокола реабилитации, с использованием роботизированного устройства [5].

Степень сенсомоторного восстановления также можно оценить с помощью других электрофизиологических измерений, таких как ЭМГ. Многие заболевания, влияющие на сенсомоторную систему человека, связаны с аномальными паттернами мышечной активации и, таким образом, восстановление моторики может быть непосредственно измерено с помощью паттернов ЭМГ. В этом контексте мышечная активность обычно раскладывается на инвариантные модули пространственной и временной активации. Аномальная синергия мышц по отношению к их здоровым аналогам может, например, быть информативной для компенсаторных стратегий, которые обычно отражают природу и уровень нарушения.

До сих пор многодоменные оценки не проводились постоянно, и оригинальное роботизированное решение должно сопровождаться валидационными исследованиями того, как реабилитационный робот влияет на функциональное состояние (ФС) пациентов, оценивая в то же время изменения нейронных и поведенческих коррелятов и их взаимодействие. Следовательно, объединение этих оценок может повысить чувствительность, выделить потенциальные дезадаптивные компенсаторные стратегии, спланировать индивидуальное терапевтическое вмешательство и более точно отслеживать прогрессирование заболевания. Эти исследования потенциально могут открыть новые представления о функциях мозга и об эффективности конкретной реабилитационной программы и устройства. Например, в области реабилитации походки для субъектов, страдающих рассеянным склерозом, эффективность тренировок с помощью роботов для восстановления опорно-двигательной функции все еще обсуждается. Однако, используя описанную выше мультимодальную структуру, можно добиться дальнейшего повышения эффективности использования роботизированных устройств в реабилитации постинсультных больных.

Наконец, нейрофизиологические и клинические факторы, влияющие на восстановление сенсомоторной функции пациента, должны управлять процессом реабилитации робототехнического устройства. В этом контексте сочетание мультимодальных подходов позволит улучшить понимания этих важнейших факторов. Например, электрофизиологические записи с мышц человека могут служить в качестве управляющих сигналов для роботизированных реабилитационных устройств, тем самым отводя ЭМГ двойную роль: формирование объема реабилитационного вмешательства и биологическую обратную связь выпол-

няемого движения [5].

В перспективе должны быть разработаны вычислительные модели механизмов восстановления, прогнозирования использования различных стратегий управления моторикой и, в конечном итоге, адаптации плана лечения к пациенту.

Заключение. Проведенный анализ современных исследований в области реабилитации постинсультных больных показал, что в настоящее время в реабилитации нижних конечностей постинсультных больных широко используются экзоскелеты с программным управлением. Однако в большинстве робототехнических устройств, предназначенных для реабилитации пациента, отсутствуют средства адаптации программы реабилитации как к общему функциональному состоянию пациента, так и к функциональному состоянию реабилитируемой конечности. Более того, в программах реабилитации не предусматривается контроль текущей динамики эффективности процесса реабилитации. В этой связи показана актуальность разработки биотехнической системы нейрофизиологической реабилитации с роботизированным устройством, управляемым посредством дешифрированных электромиосигналов и позволяющей повысить эффективность реабилитации постинсультных больных посредством адаптации алгоритма управления робототехническим устройством к текущему функциональному состоянию пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трифонов, А.А. Реабилитационная биотехническая система с электромиографическим контуром управления / А.А. Трифонов, А.А. Кузьмин, М.Б. Мяснянкин, С.А. Филист // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии - ФРЭМЭ2020: труды XIV Международной научной конференции с научной молодежной школой им. И.Н. Спиридонова (01-03 июля 2020 г.). – Владимир-Суздаль, 2020. – С. 128-133.
2. Trifonov, A. Human-Machine Interface of Rehabilitation Exoskeletons with Redundant Electromyographic Channels / A. Trifonov, S. Filist, S. Degtyarev, V. Serebrovsky, and O. Shatalova // Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings" ER(ZR) 2020, Ufa, Russia, 15–18 April 2020. – P. 237-247.
3. Трифонов, А.А. Биотехническая система с виртуальной реальностью в реабилитационных комплексах с искусственными обратными связями / А.А. Трифонов, Е.В. Петрунина, С.А. Филист, А.А. Кузьмин, В.В. Жилин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9. – №4(33). – С. 49-66.
4. Трифонов, А.А. Двухуровневая нейросетевая модель дешифратора электромиосигнала в системе управления вертикализацией экзоскелета / А.А. Трифонов, С.А. Филист, А.А. Кузьмин, В.В. Жилин, Е.В. Петрунина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии, № 4 (52), 2020. – С. 99-111.
5. Frolov, A.A. Use of robotic devices in post-stroke rehabilitation / A.A. Frolov, E.V. Biryukova, P.D. Bobrov, I.B. Kozlovskaya // Neuroscience and behavioral physiology. – 2018. – Vol. 48, No. 9. – P. 1053 – 1066.
6. Biasucci, A. Brain-actuated functional electrical stimulation elicits lasting arm motor recovery after stroke / A. Biasucci, R. Leeb, I. Iturrate, S. Perdakis, A. Al-Khodairy, T. Corbet, A. Schnider, T. Schmidlin, H. Zhang, M. Bassolino // Nat. Commun. – 2018. – No.9. – Pp. 2421.
7. Ramos-Murguialday, A.A novel implantable hybrid brain-machine-interface (BMI) for motor rehabilitation in stroke patients / A.A. Ramos-Murguialday, P. Khanna, A. Sarasola-sanz, N. Irastorza-Landa, J. Klein, J.H. Jung et al. // In Proceedings of

the 2019 9th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER) (20–23 March 2019). – San Francisco, CA, USA, 2019.

8. DeMatteo, C. The reliability and validity of the Quality of Upper Extremity Skills Test / C. DeMatteo, M. Law, D. Russell, N. Pollock, P. Rosenbaum, S. Walter // Phys. Occup. Ther. Pediatr. – 1993. – No. 13. – Pp.1-18.

9. Bohannon, R.W. Interrater Reliability of a Modified Ashworth Scale of Muscle Spasticity / R.W. Bohannon, M.B. Smith // Phys. Ther. – 1987. – No.67. – Pp. 206-207.

10. Duncan, P.W. Reliability of the Fugl-Meyer Assessment of Sensorimotor Recovery Following Cerebrovascular Accident / P.W. Duncan, M. Propst, S.G. Nelson // Phys. Ther. – 1983. – No.63. – Pp. 1606-1610.

11. Randall, M. Reliability of the Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function / M. Randall, J.B. Carlin, P. Chondros, D. Reddihough // Dev. Med. Child Neurol. – 2001. – No.43. – Pp. 761-767.

12. Mathiowetz, V. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity / V. Mathiowetz, G. Volland, N. Kashman, K. Weber // Am. J. Occup. Ther. – 1985. – No.39. – Pp. 386-391.

13. Lincoln, N. Reliability and revision of the Nottingham Sensory Assessment for stroke patients / N. Lincoln, J. Jackson, S. Adams. – 1998. – No.84. – Pp. 358-365.

14. Winward, C.E. The Rivermead Assessment of Somatosensory Performance (RASP): Standardization and reliability data / C.E. Winward, P.W. Halligan, D.T. Wade // Clin. Rehabil. – 2002. – No.16. – Pp. 523-533.

15. Lephart, S.M. Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction / S.M. Lephart, F.H. Fu, P.A. Borsa, C.D. Harner // J. Sport Rehabil. – 1992. – No.1. – Pp. 188-196.

16. Lephart, S.M. Proprioception of the shoulder joint in healthy, unstable, and surgically repaired shoulders / S.M. Lephart, J.J. Warner, P.A. Borsa, F.H. Fu // J. Shoulder Elb. Surg. – 1994. – No.3. – Pp. 371-380.

17. Gilman, S. Joint position sense and vibration sense: Anatomical organisation and assessment / S. Gilman // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. – 2002. – No. 73. – Pp. 473-477.

18. Mong, Y. 5-repetition sit-to-stand test in subjects with chronic stroke: Reliability and validity / Y. Mong, T.W. Teo, S.S. Ng // Arch. Phys. Med. Rehabil. – 2010. – No.91. – Pp. 407-413.

19. Podsiadlo, D. The timed “Up & Go”: A test of basic functional mobility for frail elderly persons / D. Podsiadlo, S. Richardson // J. Am. Geriatr. Soc. – 1991. – No.39. – Pp. 142-148.

20. Watson, M.J. Refining the ten-metre walking test for use with neurologically impaired people / M.J. Watson // Physiotherapy. – 2002. – No. 88. – Pp. 386-397.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90112.

Статья поступила в редакцию 29.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 681.3.016

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0012

СИСТЕМА КРИТЕРИЕВ И АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ СОБЫТИЙ МОНИТОРИНГА В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

© 2021

Щемелинин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник Центра научных исследований «Три Би»
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(194064, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: dshchmel@gmail.ru)

Аннотация. В данной работе представлена созданная система критериев обработки информации и принятия решений для отображения наиболее значимых событий мониторинга в информационных вычислительных средах (ИС) и разработанный алгоритм анализа и обработки информации по предложенным критериям с целью сокращения количества информационного шума, отображающегося на графическом интерфейсе системы непрерывного мониторинга *NMC* (англ. *Network Monitoring Console*). Для анализа процесса мониторинга ИС, была собрана производственная статистика из исследуемых глобально-распределенных вычислительных комплексов (ГРВК) с использованием непрерывной системы мониторинга *Zabbix*, которая используется для получения параметрических данных и метрик от нескольких десятков тысяч виртуальных электронно-вычислительных машин (*VM*, англ. *Virtual Machine*) и сохранения данных о производительности в системах управления базами данных (СУБД) *SQL* (англ. *Structured Query Language*) для вывода информации на *NMC*. Исследуемые производственные процессы мониторинга и выявления отказов в ИС основаны на методе экспертных оценок и не всегда эффективны в случае наступления масштабного отказа работоспособности ГРВК. Целью научного исследования стала разработка критериев и моделей интеграции, позволяющих создать программный модуль корреляции событий для уменьшения ложных экспертных оценок при определении первопричин отказа ГРВК в системе мониторинга и сократить время восстановления сервисов, сократить большой объем передачи служебных данных и автоматически определять наиболее значимые мониторинговые события в системе принятия решений.

Ключевые слова: мониторинг, большие данные, информационные технологии, принятие решений, обработка информации, критерии обработки информации, метрики мониторинга, корреляция событий, облачные технологии.

SYSTEM OF CRITERIA AND ALGORITHM OF INFORMATION PROCESSING AND DECISION-MAKING FOR THE SOFTWARE MODULE FOR DISPLAYING THE MOST SIGNIFICANT MONITORING EVENTS IN THE INFORMATION SYSTEM

© 2021

Shchemelinin Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical sciences,
senior researcher at the Tri B Research Center
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(194021, Russia, Saint-Petersburg, Polytechnic Street, 29, e-mail: dshchmel@gmail.ru)

Abstract. This paper presents the created system of information processing and decision-making criteria for displaying the most significant monitoring events in information computing environments (*IS*) and the developed algorithm for analyzing and processing information according to the proposed criteria in order to reduce the amount of information noise displayed on the graphical interface of the *NMC* continuous monitoring system (*English Network Monitoring Console*). To analyze the *IS* monitoring process, production statistics were collected from the studied globally distributed computing complexes (*GDK*) using the continuous monitoring system *Zabbix*, which is used to obtain parametric data and metrics from several tens of thousands of virtual electronic computers (*VM*, *English Virtual Machine*) and storing performance data in database management systems (*DBMS*) *SQL* (*English Structured Query Language*) for displaying information on *NMC*. The investigated production processes for monitoring and detecting failures in the *IS* are based on the method of expert assessments and are not always effective in the event of a large-scale failure of the *GDK* operability. The purpose of the research was to develop integration criteria and models that allow creating a software module for event correlation to reduce false expert assessments when determining the root causes of failure of the *GDK* in the monitoring system and reduce the recovery time of services, reduce the large volume of service data transmission and automatically determine the most significant monitoring events in the system. decision making.

Keywords: monitoring, big data, information technology, decision making, information processing, information processing criteria, monitoring metrics, event correlation, cloud technologies.

Введение. Большинство *IT* компаний (англ. *Information Technology*), обслуживающих ИС, построенные по принципу информационного облака, сталкиваются с проблемой эффективности средств мониторинга с точки зрения визуализации состояний ГРВК. Пытаясь привлечь новых клиентов, *IT* компа-

нии инвестируют больше ресурсов для повышения надежности и емкости своих ГРВК. Это вызывает значительный рост инфраструктуры ИС, что увеличивают процент генерируемых метрик и сценариев приложений, которые находятся под мониторингом и могут дать промежуточный результат самого мониторинга - мониторинг событий. Обзор источников [1-7] показал, что существующие средства мониторинга не способны полностью удовлетворить требования обслуживающего персонала по группировке сообщений мониторинга и подавлению, так называемого, шума событий, состоящего из множества триггеров, происходящих в ГРВК. В то же время обслуживающему персоналу требуется четкое представление о состоянии элементов системы, чтобы своевременно и надлежащим образом поддерживать работоспособность ГРВК. Персонал разработчиков программного обеспечения (ПО), также нуждается в эффективной системе непрерывного мониторинга с возможностью корреляции событий в ГРВК для отображения возникшей первопричинной проблемы, влияющей на работоспособность ИС.

В системе облачного мониторинга международной телекоммуникационной компании *RingCentral (USA)*, являющейся, согласно аналитическим отчетам Gartner 2017, 2018, 2019 и 2020, мировым Топ 20 лидером в секторе *UCaaS* (англ. *Unified Communication as a Service*),

генерируется около 2 миллионов событий в минуту в среднем на 50 000 компонент в работающих в ГРВК [8], который построен с использованием технологии облачных вычислений и использует вычислительные компоненты развернутые на *VM*. Статистический анализ частоты событий (рис. 1), отображающихся на графическом интерфейсе системы непрерывного мониторинга *NMC* (англ. *Network Monitoring Console*) для ГРВК, показал, что перебой в работоспособности только одного сетевого узла вычислений может привести к значительным всплескам частоты событий мониторинга, генерируемых другими вычислительными компонентами, работающими в логической взаимосвязи с отказавшим сетевым узлом [9].

Также, представленный статистический анализ показал, что подобный информационный шум на *NMC* возникает практически каждый день. Это в свою очередь, делает невозможным упорядочивание событий мониторинга, с точки зрения отображения причинно-следственных связей и приводит к невозможности оперативной обработки таких событий вручную силами дежурной смены инженеров обслуживания ГРВК. Более того, неверно истолкованные события и, как следствие, неправильные упреждающие действия дежурной смены могут спровоцировать глобальный отказ предоставления информационных услуг для пользователей *UCaaS*.

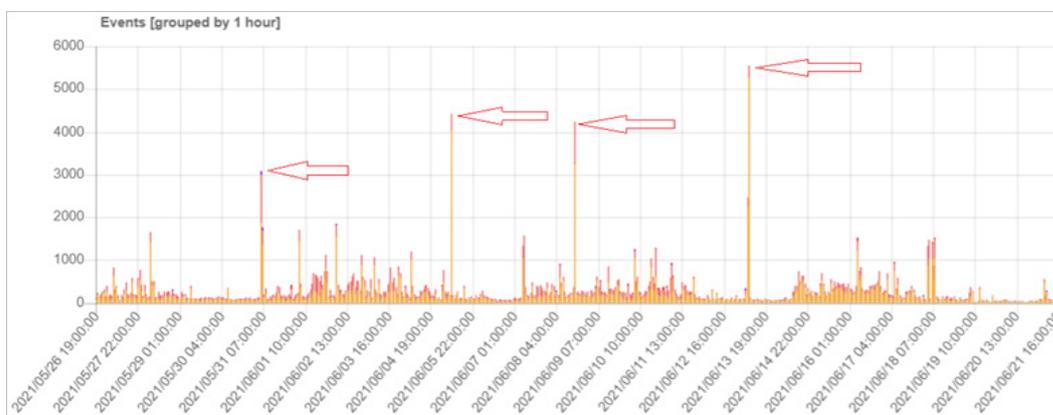


Рисунок 1 – Количество событий мониторинга в час на NMC при отказе в ГРВК

Целью данной работы является создание системы критериев обработки информации и принятия решений для отображения наиболее значимых событий мониторинга в ИС и разработка алгоритма анализа и обработки информации по предложенным критериям с целью сокращения количества информационного шума отображающегося на *NMC*.

Методы и материалы исследования. Разработка системы критериев обработки информации и принятия решений для отображения наиболее значимых событий мониторинга в ИС базировалась на основе объективных данных мониторинга, полученных в исследуемых ГРВК с использованием системы непрерывного мониторинга *Zabbix* [10, 11]. Для решения поставленных задач была разработана информационная модель интеграции (рис. 2) разрозненных производственных процессов в *VM* с использованием инструментальных

средств моделирования СУБД *Gliffy* [12-15].

В отличие от существующих решений, предложенная новая система критериев и структура данных описывает облачную ИС покомпонентно с использованием критерия *System Unit* (перевод с англ. Системная Единица), которое объединяет вычислительные компоненты и узлы ИС по набору уникальных параметров, свойственных только данному типу. Кроме того, для каждого вычислительного узла, было предложено включить дополнительный критерий *System Relation* (перевод с англ. Системная Связь), что позволило объединить любые два вычислительных узла, с точки зрения их системных связей и далее реализовать классы реляционных связей с логикой «родитель-потомок», учитывающих все виды физических и логических сетевых интерфейсов и соединений, а также транзит сетевого трафика.

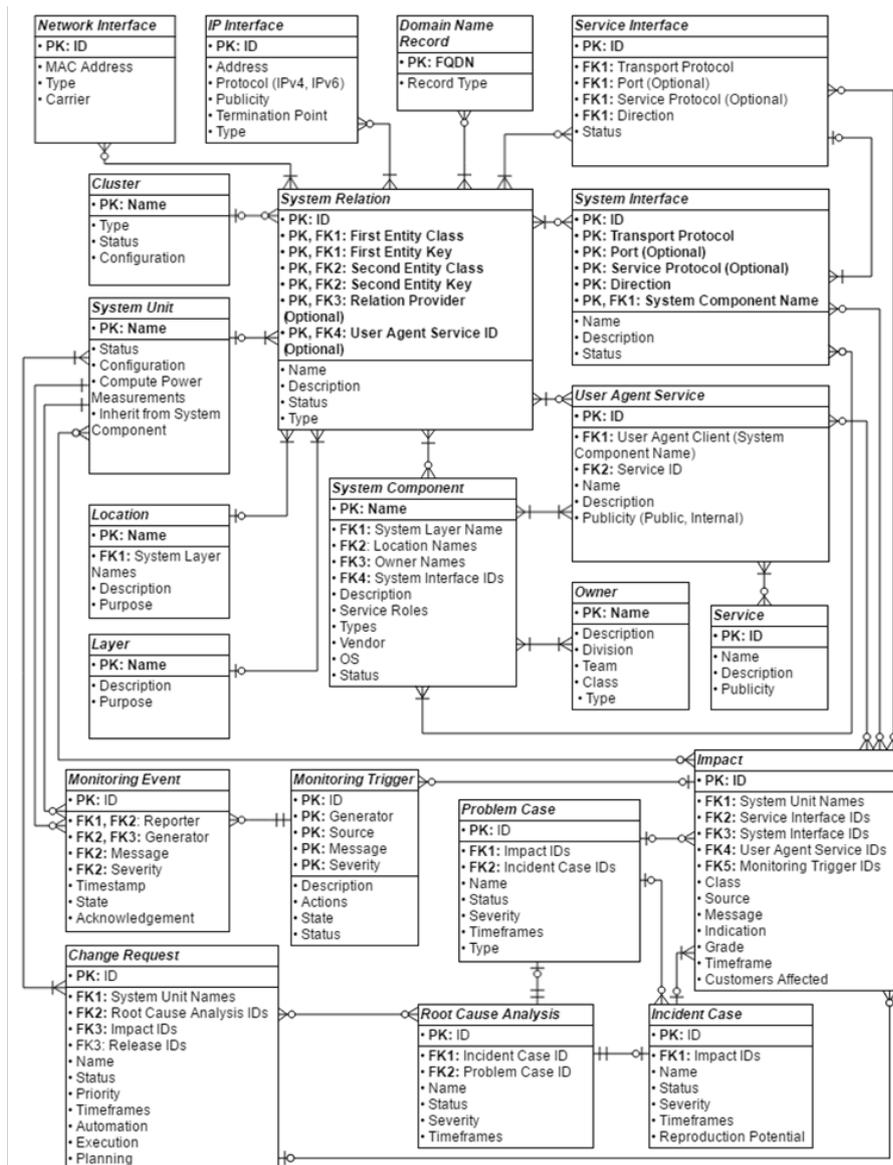


Рисунок 2 – Предложенная модель корреляции событий мониторинга ГРВК

Для описания «родителя» всех вычислительных компонент и сетевых узлов был введен критерий *System Component* (перевод с англ. Системный Компонент), который включает в себя верхне-уровневый набор параметров вычислительных компонент и сетевых узлов. Причем, Системный Компонент может быть представлен в нескольких географических *Locations* (перевод с англ. Локация) и представлять уникальный системно-вычислительный *Layer* (перевод с англ. Уровень), которые в ГРВК могут быть использованы для выполнения различающихся вычислений, таких как: вычислительные окружения для предоставления IT услуг клиентам компании либо лабораторные окружения для разработчиков ПО и тестировщиков.

Для каждой системной единицы были введены следующие идентификаторы позволяющие объединять *Monitoring Events* (перевод с англ. Мониторинговые События) по принадлежностям:

- *User Agent Service* (перевод с англ. Пользовательский Сервис);

- *User Agent Client* (перевод с англ. Пользовательский Клиент);
- *Owner* (перевод с англ. Владелец);
- *System Interface* (перевод с англ. Системный Интерфейс);
- *Network Interface* (перевод с англ. Сетевой Интерфейс);
- *Domain Name Record* (перевод с англ. Запись Доменного Имени);
- *Cluster* (перевод с англ. Кластер);
- *Service* (перевод с англ. Сервис).

В случае возникновения отказа в ГРВК, Мониторинговые События могут быть также сгруппированы по результатам оперативного технического расследования причин его возникновения (англ. *Root Cause Analysis*). Для такого сценария были предложены и реализованы следующие идентификаторы:

- *Monitoring Trigger* (перевод с англ. Мониторинговый Триггер);
- *Problem Case* (перевод с англ. Проблемный Случай);

чай);

- *Impact* (перевод с англ. Негативное Влияние);
- *Incident Case* (перевод с англ. Случай Инцидента);
- *Change Request* (перевод с англ. Запрос на Изменение).

Результаты исследования. Был разработан алгоритм анализа и обработки информации по предложенным критериям с целью сокращения количества информационного шума отображающегося на *NMC*. Он выглядит следующим образом:

Шаг 1. Сбор данных: сервер мониторинга *Zabbix* собирает все параметры работоспособности компонент ГРВК и выдает предупреждение в случае обнаружения аномалии в работе ИС;

Шаг 2. Проверка: на *Zabbix*-сервере по прибытии события в систему корреляции событий мониторинга, оно должно либо соответствовать предложенной системе критериев обработки информации, указанным в правилах обработки событий, либо быть отброшенным;

Шаг 3. Анализ: если событие принято к обработке, далее набор выборок опрашивается на предмет наличия конкретного идентификатора;

Шаг 4. Событие соответствующим образом дополняется служебной информацией;

Шаг 5. Корреляция событий с использованием

предложенной системы критериев обработки информации и принятия решений событий мониторинга;

Шаг 6. Анализ вариантов организации иерархии в базах данных с использованием модели данных для описания иерархических объектов с произвольными атрибутами и сравнительного [8, 9], что позволяет исключить отображение информационного шума и выводить на графический интерфейс только иерархическое дерево событий мониторинга, сгруппированных под родительским перво-причинным триггером;

Шаг 7. Отображение результата вычислений на *NMC* (рис. 3), на котором отображаются только ключевые наиболее значимые аномальные события, когда как вторичные события, создающие информационный шум, скрываются, с возможностью их просмотра.

При открытии оператором *NMC*, вторичные события выделяются серым цветом.

В ходе исследования, было экспериментально установлено (рис. 4), что программная реализация алгоритма анализа и обработки событий мониторинга по предложенным критериям позволило значительно сократить частоту отображения событий мониторинга на *NMC* и обеспечить непрерывный процесс обеспечения различных телекоммуникационных сервисов клиентам через Интернет с минимальными операционными затратами.

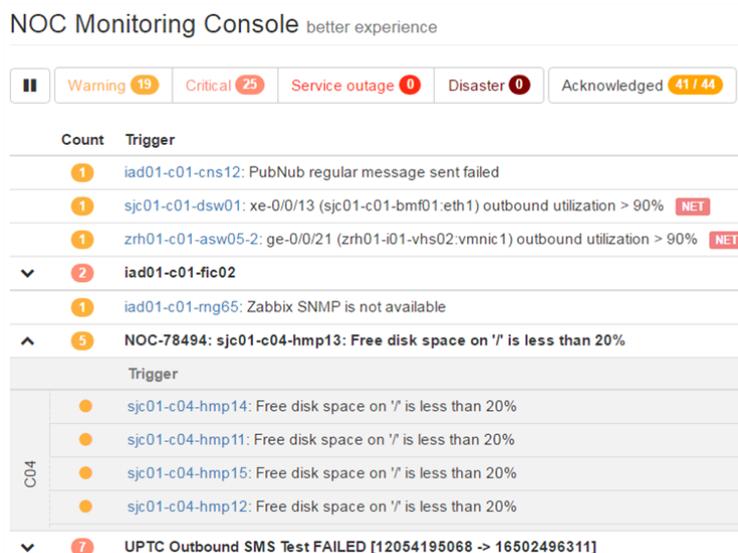


Рисунок 3 – Интегральный интерфейс визуализации (*NMC*) состояния ГРВК

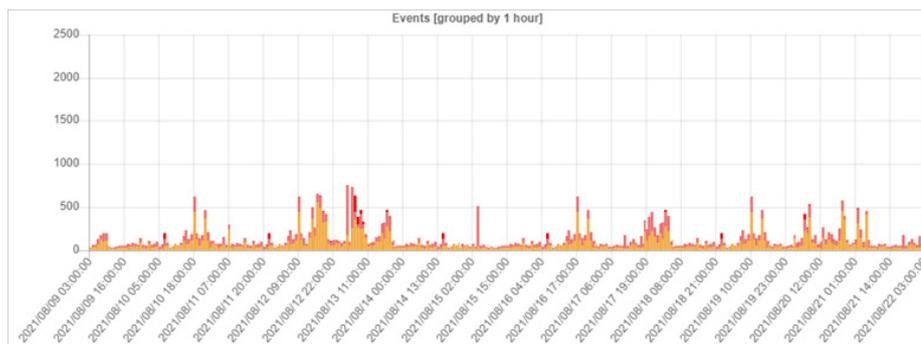


Рисунок 4 – Количество событий мониторинга в час на *NMC* при отказе в ГРВК с применением алгоритма анализа и обработки событий мониторинга по предложенным критериям

Заключение. Основным результатом работы стала сформулированная система критериев корреляции и обработки информации для визуализации только ключевых наиболее значимых аномальных событий в больших информационных потоках ГРВК на *NMC* облачной инфраструктуры, которая позволила реализовать алгоритм подавления информационного шума в программном модуле автоматической группировки событий мониторинга [16], что значительно отличается от существующих систем непрерывного мониторинга и обеспечивает визуализацию происходящих в ИС событий по новому. Практическая реализация и внедрение нового алгоритма анализа и обработки информации по предложенным критериям с целью сокращения количества информационного шума отображающегося на *NMC* в крупной телекоммуникационной компании *RingCentral* позволили уменьшить ложные экспертные оценки при определении первопричин отказа ГРВК в системе мониторинга и сократить время восстановления сервисов с целью их достижения мирового уровня доступности 99,999% в режиме 24/7 [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Батура Т., Мурзин Ф., Семич Д. Облачные технологии: основные понятия, задачи и тенденции развития // Программные продукты, системы. – 2014. – №1. URL: <http://swwsys-web.ru/cloud-computing-basic-concepts-problems.html> (дата обращения: 08.21.2021).
2. Кучерова К.Н., Мещеряков С.В., Щемелинин Д.А. Сравнительный анализ систем мониторинга глобально распределенных вычислительных комплексов // Сравнительный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. тр. XX Международной науч.-практич. конф., СПб, СПбПУ, – 2016. – С. 303-309.
3. Лавлинский Н.Е. Мониторинг сайта – отказоустойчивость и качество обслуживания // «Метод Лаб», – 2015. URL: https://www.methodlab.ru/articles/monitoring_saita (дата обращения: 21.08.2021).
4. Рудницкий П. Сравнение систем мониторинга // Prudnitskiy.PRO, 2013. URL: <https://prudnitskiy.pro/2013/11/14/monitoring-comparision/> (дата обращения: 21.08.2021).
5. F. Lanubile, C. Ebert, R. Prikladnicki, A. Vizcaino. Collaboration Tools for Global Software Engineering // IEEE Software, Vol. 27, Issue 2, – 2010. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5420797/> (дата обращения: 21.08.2021).
6. A Dell Technical Whitepaper. Sizing and Best Practices for Deploying Virtual Desktops with Dell EqualLogic Virtual Desktop Deployment Utility in a VMware Environment, 2012. URL: <http://en.community.dell.com/dell-groups/dtcmedia/m/> (дата обращения: 21.08.2021).
7. Bernstein D. Containers and Cloud: From LXC to Docker to Kubernetes // IEEE Cloud Computing, Vol. 1, Issue 3, 2014. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7036275/> (дата обращения: 21.08.2021).
8. Официальный Интернет-сайт RingCentral. URL: <http://www.ringcentral.com/> (дата обращения: 21.08.2021).
9. Ефимов В.В., Щемелинин Д.А., Яковлев К.А. Интеграционная модель данных для управления непрерывным обслуживанием глобально распределенных вычислительных систем // Труды междунар. науч.-техн. конф. КОМОД-2017,-СПб, Изд-во Политехн. ун-та. – 2017. URL: http://dcn.icc.spbstu.ru/fileadmin/userfiles/Documents/Erasmus/Sbornik_Comod_2017/COMOD-2017_paper_14.pdf (дата обращения: 21.08.2021).
10. Щемелинин Д.А. Программные модели и методы мониторинга состояния процес-синговых узлов в облачной инфокоммуникационной системе с использованием Zabbix // Программные системы и вычислительные методы. – 2021. – № 2. DOI: 10.7256/2454-0714.2021.2.35617 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=35617 (дата обращения: 21.08.2021).
11. Zabbix Enterprise-class Monitoring System // URL: <http://www.zabbix.com> (дата обращения: 21.08.2021)
12. Иванов В.М., Мещеряков С.В. Методы оптимального проектирования баз данных производственного оборудования // – СПб.: СПбПУ, – 2012.
13. Иванов В.М., Мещеряков С.В. Реализация модели данных для описания иерархических объектов с произвольными атрибутами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление.– 2009.– № 1 (72).– С. 139-143.
14. Мещеряков С.В. Сравнительный анализ вариантов организации иерархии в базах данных // Системы управления и информационные технологии.– 2009.– № 1 (35).– С. 34-37.
15. S.V. Mescheryakov, V.V. Efimov, A.N. Volkov, D.A. Shchemelinin Integrated Data Model for Managing a Multi-Service Dynamic Infrastructure // Computer Modeling and Simulation: труды междунар. науч.-техн. конф., СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2014. URL: <http://dcn.icc.spbstu.ru/index.php?id=344> (дата обращения: 21.08.2021).
16. Кучерова К.Н., Мещеряков С.В., Щемелинин Д.А. Прогностическое моделирование и визуализация в облачной системе мониторинга // Распределенные компьютерные и теле-коммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016): Материалы 19 междунар. науч. конф., Т. 1, М: РУДН, – 2016. URL: <http://dccn.ru> (дата обращения: 21.08.2021).

Статья поступила в редакцию 12.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 004.9

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0013

ВЫБОР СРЕДСТВ ВИДЕОМЭППИНГА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2021

Косников Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы»,

Ашкирина Оксана Олеговна, магистрант кафедры «Информационно-вычислительные системы»

Пензенский государственный университет

(440027, Россия, г.Пенза, ул.Красная, 40, e-mail kosnikov@gmail.com)

Аннотация. Одним из эффективных средств представления разнородной информации группе людей является видеомэппинг. Это технология проецирования изображений на физический объект окружающей среды – плоскость или более сложную поверхность – с учётом его геометрии и местоположения в пространстве. Мэппинг-презентации весьма разнообразны по виду и сложности. Основными средствами для их изготовления являются компьютеры, компьютерные проекторы, программное обеспечение для создания объектов мэппинга и программы для построения мэппинг-презентаций. Парк указанных средств весьма широк. В статье показаны основные типы изображений, характерных для информационных материалов: статический монохромный текст, статическая монохромная графика, статическая 2D инфографика, динамическая 2D инфографика, изображения динамических 3D объектов, реалистичные изображения динамических 3D объектов. Предлагается осуществлять выбор средств видеомэппинга на основе учета функционала, требуемого для построения мэппинг-презентации, особенностей формируемых изображений, эргономических требований к яркости и площади изображений, стоимости проекта. Даются рекомендации по выбору средств создания видеомэппинга по принципу оптимизации соотношения цена/функционал презентации.

Ключевые слова: видеомэппинг, разновидности изображений, компьютерный проектор, компьютер, программное обеспечение, стоимость, методика выбора.

CHOOSING VIDEO MAPPING TOOLS FOR INFORMATION MATERIALS VISUALIZATION

© 2021

Kosnikov Yuri Nikolaevich, doctor of Technical Sciences, professor,
professor of the Department "Information and Computing Systems",

Ashkirina Oksana Olegovna, master's student

Penza State University

(440027, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail kosnikov@gmail.com)

Abstract. One of the most effective means of heterogeneous information presenting a group of people is video mapping. This is a technology for projecting images onto a physical object of the environment – a plane or a more complex surface-taking into account its geometry and location in space. Mapping presentations are very diverse in type and complexity. The main means for their production are computers, computer projectors, software for creating mapping objects and programs for building mapping presentations. The park of these means is very wide. The article shows the main types of images characteristic of information materials: static monochrome text, static monochrome graphics, static 2D infographics, dynamic 2D infographics, images of dynamic 3D objects, realistic images of dynamic 3D objects. It is proposed to select video mapping tools based on the functionality required for building a mapping presentation, the features of the generated images, ergonomic requirements for the brightness and area of images, and the cost of the project. Recommendations are given on the choice of means for creating video mapping based on the optimizing principle of the price/functionality ratio of the presentation.

Keywords: video mapping, images types, computer projector, computer, software, cost, selection method.

Введение. Во многих случаях возникает необходимость представления визуальной информации большой группе людей. Массовое информирование, защита проектов, обсуждение результатов деятельности, конференции, реклама – вот неполный перечень мероприятий, для которых актуальна эта задача. Задача решается двумя способами: представление изображений на экранах большого числа устройств (мониторов) индивидуального пользования и применение устройств коллективного (группового) пользования. Там, где не требуется большой размер изображения, вполне можно обойтись обычными мониторами, на экранах которых успешно формируются и текстовые,

и графические, и статические, и динамические, и реалистичные, и стилизованные, и любые другие изображения. Однако можно назвать целый ряд ситуаций, в которых необходимо представлять данные в виде изображений большого формата.

Большой размер изображений позволяет:

– показать разборчиво (с высокой детальностью) в виде одной картины изображение, которое на экране монитора выглядит неразборчиво, например, карту России с символами и текстом на площадях регионов;
– организовать обсуждение тематики изображения группой людей, свободно перемещающихся вблизи информационного поля, то есть без привязки к фикси-

рованному рабочему месту;

- получить представление о виде и функционировании объекта (например, новой модели одежды или автомобиля) в натуральную величину;

- представить для восприятия многим людям в точности одинаковое изображение, вид, формат, палитра которого не определяются мониторами на рабочих местах. Это особенно важно при показе изделий художественных промыслов, произведений искусства, дизайнерских решений.

Уже давно для подобных целей применяют плакаты и компьютерные презентации, однако изобразительные возможности этих средств ограничены. Зрители лучше усваивают материал, если он представлен в виде динамичных, интерактивных, трехмерных сцен. Создать изображения таких сцен большого формата, сопроводить их звуковым рядом и при этом выполнить требования стандартов по эргономике способен видеомэппинг.

Цель работы. Видеомэппинг — это современная технология визуализации данных, представляющая собой проецирование изображений на физический объект окружающей среды – плоскость или более сложную поверхность – с учётом его геометрии и местоположения в пространстве. Изображения проецируются на фасад здания, стену комнаты, капот автомобиля, лицо человека. Изображение хранится на компьютере или генерируется им и проецируется на физический носитель с помощью проектора (одного или нескольких) и специального программного обеспечения [1 - 4]. Сам термин «видеомэппинг» произошел от слияния двух английских слов: «*video*» — видео и «*mapping*» – отображение, проецирование. Видеомэппинг широко применяется в современном аудиовизуальном искусстве, но этим область его применения не ограничивается. Возможность его применения в отображении информационных материалов, в инфобизнесе очевидна [5], однако рабочие рекоменда-

ции по выбору средств видеомэппинга применительно к различным разновидностям сцен не систематизированы. С одной стороны, информационные материалы весьма разнообразны. Это отчеты, иллюстрации, макеты, изделия, патенты, статические и динамические компьютерные модели (2d и 3d), видеопрезентации и пр. С другой стороны, весьма разнообразны и средства видеомэппинга. При выборе технических и программных средств по принципу лучших значений всех характеристик проект может получиться необоснованно затратным. При выборе средств по принципу экономии ресурсов может пострадать функционал проекта. Информация по выбору программно-технических средств видеомэппинга фрагментарна, содержится, в основном, на интернет-сайтах в виде открытой или завуалированной рекламы. Например, типичными публикациями являются [6, 7], которые не дают последовательного представления о выборе программ и техники для видеомэппинга. Возникает вопрос: как выбрать эти средства для представления конкретных продуктов инфобизнеса по принципу оптимума?

В статье предпринимаются шаги по созданию и упорядочению рекомендаций для ответа на этот вопрос.

Материалы и результаты исследования. Выбор средств видеомэппинга определяется требованиями к внешнему виду и содержанию отображаемых сцен, а также требованиями эргономики и допустимой стоимостью проекта. От внешнего вида и содержания сцен зависит выбор функциональных возможностей программного обеспечения видеомэппинга и производительности его технических средств. Эргономические требования определяют выбор силы светового потока и разрешающую способность проектора. В таблице 1 приведены разновидности изображений, представляемых наблюдателю при отображении различных информационных материалов, и функциональные возможности изображений.

Таблица 1 – Разновидности изображений видеомэппинга и требования к изображениям

Разновидности изображений	Назначение, область применения	Возможности
Статический монохромный текст	Текстовое описание информационных объектов. Отображение формул и таблиц. Документация научно-технического, экономического, социального и гуманитарного профиля	Алфавитно-цифровое изображение среднего разрешения, черно-белое или в палитре серого
Статическая монохромная графика (схемы, чертежи, рисунки)	Иллюстративное представление информационных объектов в соответствии с требованиями стандартов. Документация научно-технического, экономического, социального профиля	Графическое изображение высокого разрешения, черно-белое или в палитре серого
Статическая 2D инфографика	Информирование и привлечение внимания потенциальных потребителей информации. Документация экономического и социального профиля, реклама, продукты СМИ	Комбинация текста и графики. Большое количество цветов, высокое разрешение
Динамическая 2D инфографика	Визуализация подвижных объектов, например, представление движущихся объектов на карте в сочетании с текстом. Динамическая реклама. Компьютерные презентации.	Комбинация текста и графики. Большое количество цветов, высокое разрешение. Динамика отдельных частей изображения на плоскости поля вывода в реальном времени
Изображение динамических 3D объектов	Отображение результатов моделирования информационных объектов в трех измерениях, показ зрительного объема объектов, а также их перемещений в пространстве. Визуализация промышленных, транспортных, архитектурных, художественных и иных объектов	Широкая цветовая палитра, наличие теней и текстур. Динамика отдельных частей изображения в пространстве с отображением на плоскости поля вывода. Внешний вид объектов может быть стилизованным
Реалистичное изображение динамических 3D объектов	Отображение результатов моделирования информационных объектов в трех измерениях, показ зрительного объема объектов, а также их перемещений в пространстве. Реалистичная визуализация поведения и внешнего вида компьютерных моделей информационных объектов любой предметной области.	Геометрические преобразования в пространстве, пересчет теней и текстур в режиме реального времени. Широкая цветовая палитра, повышение реалистичности отображения за счет спецэффектов

Формирование изображений на экранах коллективного пользования имеет особенности: получение информации осуществляется одновременно большим числом людей, расстояние наблюдения может быть значительным, значение внешней освещенности может достигать 10^4 лк, что снижает яркостный контраст изображения. В связи с этим параметры компьютерного проектора для видеомэппинга необходимо выбирать с учетом эргономических требований [8]. Отправной точкой выбора является обеспечение эргономически обоснованной яркости изображения на заданной площади проекции. Изображения, формируемые средствами видеомэппинга, должны восприниматься наблюдателем с расстояния от нескольких метров до сотен метров. Яркость изображений должна составлять не менее 3000 кд/м². Парк технических средств в настоящее время включает проекторы широкого диапазона яркостей. Мощные проекторы обеспечивают световой поток до 20-30 тысяч люмен, что позволяет получить требуемую яркость изображения на реальных площадях объектов, вплоть до зданий. В помещениях объекты имеют меньший размер и не требуют проекторов с большим световым потоком. Например, для создания изображения на одной стене площадью 10-15 кв.м. достаточен проектор мощностью в 3500-4000 люмен. Если требуется осветить несколько поверхностей или поверхность имеет большую протяженность, нужно использовать несколько проекторов, синхронно работающих под управлением единого программного обеспечения. Для выбора проектора можно использовать соотношение между яркостью изображения L и величиной светового потока Φ :

$$L = \frac{\Phi}{\sigma \cdot \cos \varphi \cdot \Omega}, \text{ кд/кв.м,}$$

где: σ – площадь изображения, кв.м;

Ω – телесный угол изображения, ср;

φ – угол между перпендикуляром к изображению и лучом зрения, направленного в центр изображения, град.

Значение светового потока Φ является паспортной характеристикой проектора, площадь проекции также находится из паспортных данных: принимается равной площади экрана, а угол φ определяется расположением наблюдателей относительно изображения. Величина телесного угла Ω вычисляется по формуле [9]

$$\Omega = 4 \arctg \frac{ab}{2d\sqrt{4d^2 + a^2 + b^2}},$$

где a и b – величины сторон изображения (экрана);

d – расстояние от проектора до изображения.

Разрешение проектора следует увеличивать по мере опускания вниз по таблице 1.

Что касается выбора компьютера, то он сильно зависит от сложности сцены и требований к ее реалистичности. В простых проектах возможно производить все манипуляции с использованием обычного персонального компьютера или даже ноутбука. Для реализации сложных проектов применяются мощные стационарные компьютеры с возможностью парал-

лельного вывода информации на несколько проекторов или высокопроизводительные видеосерверы [10].

Программное обеспечение видеомэппинга состоит из трех основных частей. Первую образуют средства создания изображений: текста, рисунков, видеопоследовательностей и моделей. Это текстовые процессоры, графические редакторы, видеоредакторы, 3d моделиеры. Вторая часть – это среды программирования графики и графические библиотеки, третью часть образуют программы для создания собственно продуктов видеомэппинга. Это либо программы для видеомонтажа, либо специализированные программы. Для удешевления проектов имеет смысл выбирать свободно распространяемое программное обеспечение. Двухмерные изображения формируются средствами редакторов: векторных – *LibreOffice Draw*, *Gravit Designer*, *YouiDraw*, *Incscape*, растровых – *GIMP*, *Krita*, *Pixlr E*, *Paint.NET*, *PhotoScape* и других [11, 12]. Слайд-шоу, видеоролики из фотографий, поддержка съемки видеокамерой и подобные операции выполняются видеоредакторами. Они позволяют компоновать в видеоролики фотографии, добавлять анимацию, обрабатывать изображения с помощью фильтров, объединять и разделять видеоролики, добавлять звуковую дорожку и еще целый ряд функций. Существуют свободно распространяемые видеоредакторы, например, *Avidemux*, *GoPro «QUIK Desktop»*, *Lightworks*. Особо следует отметить программу *DaVinci Resolve*, которая, по сути, имеет в единой программной среде полноценные возможности видеомонтажа и цветокоррекции, наложения визуальных эффектов, создания графики и постобработки звука [13, 14].

Для создания 3d моделей рационально использовать в более простых случаях моделиеры *SketchUp*, *Wings 3D*, *Sculptris*, *Autodesk 123D*, в более сложных – *Blender*, *K-3D*, *Art of Illusion*, *OpenSCAD* и другие [15]. Наиболее популярными свободно распространяемыми графическими библиотеками являются *DirectX*, *OpenGL*, *Vulkan*. Их функциональные возможности во многом схожи. Это создание геометрических форм различной мерности, выполнение геометрических преобразований в пространстве, закраска объектов, наложение текстур, моделирование освещенности [16].

Спектр программ для создания продуктов видеомэппинга также довольно широк. Почти все программы являются платными, но многие из них имеют бесплатную демоверсию. Наиболее популярными являются программы, работающие как под *Windows*, так и под *Mac OS X (macOS)*: *Madmapper*, *Isadora (Troikatronix)*, *Resolume Avenue*, *HeavyM* [17-19]. Из бесплатных продуктов можно назвать *VPT (VideoProjectionTool)* и *Visution Mapio* (есть бесплатная версия). Программы имеют примерно одинаковый функционал: наличие видеовхода, многоканальность, видеоэффекты, предварительный просмотр, виджетинг (применение нескольких средств отображения – графики, видео, спецэффектов, временных трансформаций – в реальном времени), синхронизация

мультипроекции, синхронизация звуковой дорожки с визуальными проекциями, интеграция с 3d движком и т.д. Средняя стоимость программ для видеомэппинга – от 300 до 800 долларов. Более дорогие программы имеют дополнительные возможности: большее количество слоев или фильтров, улучшение работы в реальном времени, большие возможности по работе с 3d объектами и другие. Есть и другой вариант: использовать программы для редактирования видео, например, *Adobe Premiere Pro, Adobe After Effects* [20].

Весьма существенным аспектом проектов видеомэппинга является их стоимость. С этой точки зрения существует два принципиальных подхода к выполнению проектов. Первый заключается в заказе проекта в специализированной организации и аренде технических средств на время шоу. Такой подход снимает саму задачу выбора средств видеомэппинга, так как такой выбор становится делом исполнителя. Оценить затраты на одну минуту мэппинг-шоу в этом

случае весьма затруднительно, так как различные организации выдвигают различные финансовые требования. Стоимость минуты шоу среднего уровня может составить и 1500, и 3000 евро. Вопрос о стоимости проекта в этом случае решается в ходе переговоров [21]. Второй подход заключается в самостоятельной разработке мэппинг-шоу. В этом случае необходимо приобретать все компоненты проекта и затратить время и средства на обучение персонала проектировщиков. Если при изготовлении проекта видеомэппинга для создания графики использовать свободно распространяемое программное обеспечение, то стоимость проекта (без учета заработной платы разработчиков), в основном, будет определяться стоимостью технических средств и программ изготовления продукта видеомэппинга.

Варианты характеристик проекта, включающего изображения из таблицы 1, для этого случая показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Варианты характеристик программных и технических средств видеомэппинга

Технические средства	Программы	Примерная стоимость
Статический монохромный текст, статическая монохромная графика		
Проектор: разрешение SXGA или SXGA+, световой поток 3 – 5 тыс. люмен. Компьютер: ПК или ноутбук средней мощности (частота от 1,4 ГГц, видеокарта с памятью 1–2 Гб)	Для создания изображений – практически любой текстовый процессор (например, OpenOffice Writer), практически любой графический редактор (Inkscape, GIMP). Для видеомэппинга – любая программа, например, Madmapper.	Технические средства – от 60 т.р. Madmapper – около 300 долларов
Статическая 2D инфографика		
Проектор: разрешение SXGA+, UXGA, Full HD, световой поток – 5 – 20 тыс. люмен. Компьютер: ПК или ноутбук среднего класса (частота от 2.5 ГГц, видеокарта с памятью от 2 Гб)	Для создания изображений – ПО Canva, GIMP, Piktochart (базовый модуль). Для видеомэппинга – ПО Madmapper, Isadora, Resolume Avenue	Технические средства – от 100 т.р. Madmapper – около 300 долларов, Isadora – от 800 долларов, Resolume Avenue – от 1000 долларов
Динамическая 2D инфографика		
Проектор: разрешение SXGA+, UXGA, Full HD, световой поток – 5 – 20 тыс. люмен. Компьютер: мощный ПК (частота от 4 ГГц, видеокарта с памятью от 8 Гб)	Для создания изображений – ПО Canva, GIMP, Creately, Piktochart Программирование динамики: язык C++, C#, библиотеки DirectX, OpenGL, Vulkan. Для видеомэппинга – ПО Madmapper, TouchDesigner, Resolume Avenue	Технические средства – от 180 т.р. Madmapper – около 300 долларов, TouchDesigner – от 600 долларов, Resolume Avenue – от 1000 долларов
Изображение динамических 3D объектов		
Проектор: разрешение UXGA, Full HD, световой поток – 5 – 30 тыс. люмен. Компьютер: мощный ПК (частота от 4 ГГц, видеокарта с памятью от 8 Гб)	Для создания изображений – ПО SketchUp, Autodesk 123D, Cinema 4D (Lite). Программирование динамики: язык C++, C#, библиотеки DirectX, OpenGL, Vulkan. Для видеомэппинга – ПО Isadora (Troikatronix), TouchDesigner, Resolume Avenue	Технические средства – от 180 т.р. Isadora (Troikatronix) – от 800 долларов, TouchDesigner – от 600 долларов, Resolume Avenue – от 1000 долларов
Реалистичное изображение динамических 3D объектов		
Проектор: разрешение Full HD, WUXGA, световой поток – 5 – 30 тыс. люмен. Компьютер: мощный ПК (частота от 4 ГГц, видеокарта с памятью от 8 Гб)	Для создания изображений – ПО Cinema 4D, Blender. Программирование динамики: язык C++, C#, библиотеки DirectX, OpenGL, Vulkan. Для видеомэппинга – ПО Isadora (Troikatronix), TouchDesigner, Resolume Avenue	Технические средства – от 200 т.р. Isadora (Troikatronix) – от 800 долларов, TouchDesigner – от 600 долларов, Resolume Avenue – от 1000 долларов

Заключение. Основываясь на данных таблицы 2, можно провести первичную оценку будущего проекта видеомэппинга с программно-технической и экономической точек зрения. Предлагается следующая простая методика выбора средств видеомэппинга для отображения информационных материалов:

1) Анализ информационной нагрузки проекта и разработка функционала сцены;

2) Выявление компонентов сцены, указанных в таблице 1, и «привязка» их к функциональным элемен-

там сцены;

3) Выбор свободно распространяемых средств изготовления графики (моделей, изображений, библиотек) для создания компонентов сцены. Если такие средства найдены, – переход к следующему пункту, в противном случае – анализ коммерческих продуктов и выбор средств из этого спектра;

4) Определение характеристик качества и эргономичности изображений – цветовой палитры, яркости, контраста, места и расстояния наблюдения, площади,

разрешения и т.д.;

5) Выявление компонента (изображения) сцены с наиболее высокими требованиями к визуальному представлению;

6) Определение варианта комплектации проекта, удовлетворяющего компоненту сцены с наиболее высокими требованиями, по таблице 2.

7) Оценка финансовых затрат на реализацию выбранного варианта. Если уровень затрат приемлем, - реализация проекта, в противном случае – возврат к п.4 и редактирование характеристик качества сцены. Другим решением является упрощение сцены, что заставит начать процесс выбора с пункта 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Maniello, D. Improvements and Implementations of the Spatial Augmented Reality Applied on Scale Models of Cultural Goods for Visual and Communicative Purpose // 5th International Conference, AVR 2018, Otranto, Italy, June 24–27. – 2018. – Proceedings. – Part II. – pp. 303–319. Doi: 10.1007/978-3-319-95282-6-23.

2. Ефименко С.М., Лешевич В.В. К вопросу об особенностях применения технологии «видеомэппинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://dngn.pstu.ru/conf2017/papers/71/>.

3. Грунчева Е.В. Эволюция экранного искусства: от немого кино к 3D-видеомэппингу // Вестник Челябинской государственной академии культуры и искусств. – 2016. – № 3 (47). – С.20 – 25.

4. Turning Ideas into spectacles. Transform any surface with video projection mapping // Сайт «MOTION MAPPING». – Режим доступа: URL <https://motionmapping.co.uk/>.

5. Ашкирина О.О., Косников Ю.Н. Инфобизнес как возможная область применения видеомэппинга // Вестник Пензенского государственного университета. – 2020. - №3(31). – С. 129-133.

6. Projection And Video Mapping Tools For Real Estate Businesses // Сайт «Video Mapping Guide». – Режим доступа: URL <https://thevideomappingguide.wordpress.com/>.

7. VJ Железо // Сайт «Виджеинг, видео инсталляции, видео маппинг». – Режим доступа: URL <http://www.malbred.com/materialy-sayta/zhelezo/all/>

8. ГОСТ Р 52870-2007 Средства отображения информации коллективного пользования. Требования к визуальному отображению информации и способы измерения - Группа Э65. – Введён 2009-01-01

9. Ribando J.M. Measuring Solid Angles Beyond Dimension Three // Discrete & Computational Geometry. – 2006. – Vol. 36(3). – pp 479 – 487.

10. Выбираем оборудование для 3D маппинга. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL <https://vk.com/@rec.11ama-vybiraem-oborudovanie-dlya-3d-mappinga>

11. Владимирив И. 7 бесплатных векторных графических редакторов // Блог Geeker.ru. – Режим доступа: URL <https://geeker.ru/photo/vektornye-graficheskie-redaktory/>.

12. Галицкий М. 10 бесплатных графических редакторов - обзор лучших программ 2021 года. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://free-photo-editors.ru/besplatnye-graficheskie-redaktory.php>.

13. Дмитриева О. Топ-18: лучшие бесплатные программы для создания видео // Сайт «CHIP». – Режим доступа: URL <https://ichip.ru/sovety/top-18-luchshie-besplatnye-programmy-dlya-sozdaniya-video-136804>.

14. Рыбина А. Лучшие программы для создания видео из фото с музыкой // Сайт компании AMS Software. – Режим доступа: URL <https://amssoft.ru/video/programma-dlya-sozdaniya-video-iz-foto.php>.

15. Сиддикви Д. 20 бесплатных программ для 3D-моделирования // Сайт «FREELANCE TODAY». – Режим доступа: URL <https://freelance.today/poleznoe/20-besplatnyh-programm-dlya-3d-modelirovaniya.html>.

16. DirectX vs OpenGL vs Vulkan API | Explained (2021) // Сайт «GROWTECHY». – Режим доступа: URL <https://growtechy.com/directx-vs-opengl-vulkan-api-which-is-better-overall/>

17. Лучшие программы для видео-мэппинга // Сайт компании FILIN. – Режим доступа: URL <https://filin.pro/blog/luchshie-programmy-dlya-video-mappinga/>.

18. Williams E. 8 Best Video Mapping Software // Сайт «Fixthephoto». – Режим доступа: URL <https://fixthephoto.com/best-video-mapping-software.html>.

19. Resolume Avenue // Сайт «ProgSoft.net». – Режим доступа: URL <https://progsoft.net/ru/software/resolume-avenue>.

20. Stanojevic M. 6 best video mapping software // Сайт «WINDOWSREPORT». – Режим доступа: URL <https://windowsreport.com/video-mapping-software/>.

21. Сколько стоит проекционное видео мэппинг шоу? // Сайт «Виджеинг, видео инсталляции, видео маппинг». – Режим доступа URL <http://www.malbred.com/ostalnoe/skolko-stoit-proektsionnoe-video-mepping-shou.html>.

Статья поступила в редакцию 15.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 624.96:531.661

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0014

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ЗАГРАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

© 2021

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

Большаков Герман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Технологии и оборудование машиностроения»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, ул. Красная, 40, e-mails: den517375@ya.ru, geraman83@mail.ru)

Волков Владимир Васильевич, кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Автоматизация и управление»

Аксенова Елена Александровна, старший преподаватель кафедры «Автоматизация и управление»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mails: volkovv@penzgtu.ru, nsn@penzgtu.ru)

Аннотация. Объектом исследования выступало мобильное ограждение, образованное железобетонными блоками соединенными между собой и предназначенное для создания физического препятствия для автотранспортного средства. Предметом исследования настоящей работы являлись внутренние усилия в элементах связей мобильного ограждения, возникающие в результате действия кратковременной динамической нагрузки, а также деформации ограждения, характеризующиеся углом поворота ударяемого блока вокруг его продольной оси. Исследование проведено с помощью коммерческой системы компьютерного моделирования *SolidWorks* «Анализ движения». Расчет связанных дифференциальных и алгебраических уравнений, определяющих движение модели механической цепи при наезде автотранспортного средства, производился с помощью интегратора переменного порядка и шага *WSTIFF*. Проведен анализ по влиянию коэффициента трения скольжения на характер изменения реакций, возникающих в элементах связей между отдельными блоками, а также на поведение конструкции. Выявлена значительная обусловленность возникающих внутренних усилий в элементах связей, а также углов поворота блоков вокруг продольной оси ограждения от указанного параметра. Полученные данные дают возможность принимать эффективные технические решения по снижению коэффициента трения скольжения в паре «мобильное ограждение – основание для его установки» при разработке и применении подобных устройств.

Ключевые слова: цепь, изгибно-жесткая нить, мобильное ограждение, удар, коэффициент трения.

ANALYSIS OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF A MOBILE BARRIER BASED ON A MECHANICAL CHAIN MODEL

© 2021

Tarasov Denis Aleksandrovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department "Automated Security Systems»

Bolshakov German Sergeevich, candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the Department of "Technologies and Equipment of Mechanical Engineering»

Penza State University

(40 Krasnaya str., Penza, 440026, Russia, e-mails: den517375@ya.ru, geraman83@mail.ru)

Volkov Vladimir Vasilievich, candidate of technical sciences, professor,
head of the Department "Automation and Control"

Aksenova Elena Aleksandrovna, senior lecturer of the Department "Automation and Control"

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baidukova proezd / ul. Gagarina, 1a/11, e-mails: volkovv@penzgtu.ru, nsn@penzgtu.ru)

Abstract. The object of the study was a mobile barrier formed by reinforced concrete blocks connect-ed to each other and designed to create a physical obstacle for a vehicle. The subject of this study was the internal forces in the elements of the links of a mobile barrier, resulting from the action of a short-term dynamic load, as well as deformation of the barrier, characterized by the angle of rotation of the striking block around its longitudinal axis. The study was carried out using a commercial computer modeling system *SolidWorks* "Motion Analysis". The calculation of coupled differential and algebraic equations defining the movement of the model of a mechanical chain when a vehicle collides was carried out using an integrator of variable order and step *WSTIFF*. An analysis is carried out on the influence of the sliding friction coefficient on the nature of the change in the reactions arising in the elements of connections between individual blocks, as well as on the behavior of the structure. Revealed a significant conditionality of the arising internal forces in the elements of the links, as well as the angles of rotation of the blocks around the longitudinal axis of the fence from the specified parameter. The data obtained make it possible to make effective technical solutions to reduce the coefficient of sliding friction in the pair "mobile barrier - the basis for its installation" in the development and use of such devices.

Keywords: chain, flexural-rigid thread, mobile barrier, impact, coefficient of friction.

Введение. За последнее время появился большой интерес к вопросам связанным с созданием теоретических основ для разработки [1 – 3], а также с практическим применением систем и средств физической защиты объектов как промышленного, так и гражданского назначения [4 – 7]. Это объясняется непрекращающимся ростом террористических угроз в стране и мире. Как правило, первым рубежом безопасности является внешний периметр, проходящий по границе территории охраняемого объекта [8]. Однако многие объекты инфраструктуры требуют временного ограничения своей территории, например, для проведения массового мероприятия с большим количеством скопления людей. Сегодня одной из наиболее потенциально опасных угроз является таранный удар автотранспортным средством [9, 10]. Для противодействия такой угрозе и реализации мобильных свойств заграждения одним из наиболее простых и надежных решений является преграда образованная железобетонными блоками, соединенными между собой.

Техническое решение, представленное на рисунке 1, предназначено для создания физического препятствия транспортному средству, прорывающемуся на территорию охраняемого объекта посредством таранного удара, и обеспечения его принудительной остановки для предотвращения распространения последствий, планируемого террористического акта. Такую конструкцию следует рассматривать как единую механическую цепь, состоящую из отдельных объемных железобетонных блоков, соединенных между собой элементами, образующими между ними связи. Вместе с тем неправильно принятые предпосылки при расчете или конструктивные решения на стадии разработки такого устройства могут повлечь за собой разрыв механической цепи прорывающимся транспортным средством со всеми вытекающими трагическими последствиями.

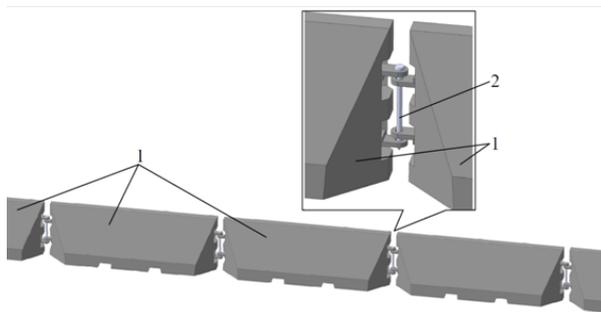


Рисунок 1 – общий вид мобильного заграждения:
1 – железобетонный блок; 2 – элемент связи

Целью данного исследования являлось повышение несущей способности мобильного заграждения, а именно, стойкости к таранному удару транспортным средством, а также оценка влияния одного из параметров, определяющих работу конструкции и распределение усилий в ее элементах при внешнем воздействии поперечной кратковременной динамической нагрузки.

Материалы и методы исследования. Моделиро-

вание работы мобильного заграждения при действии внешних силовых факторов проводилось в системе компьютерного моделирования *SolidWorks* «Анализ движения». Трехмерная твердотельная модель представляла собой изделие, состоящее из 5 секций, и основано на котором оно установлено. Взаимодействие между секциями в цепи заграждения моделировалось с помощью сопряжений «концентричность». Для моделирования контакта железобетонных блоков и основания использовалась односторонняя связь, в параметрах которой определялся коэффициент трения покоя и скольжения, а также жесткость. Односторонняя связь в виде 3D контакта позволяла сохранить возможность перемещения блоков в вертикальной плоскости с отрывом от основания и тем самым исследовать возможность опрокидывания цепи в целом. Поперечное кратковременное динамическое воздействие от транспортного средства моделировалось заданием начальной скорости движения центрального блока равной 5 м/с. Изменение скорости от 0 до 5 м/с происходило за 0,2 секунды. Данный параметр определен на основе результатов полученных в ходе натурных испытаний [18]. Кроме того в качестве нагрузок задавалась сила тяжести препятствующая опрокидыванию и вызывающая трение блоков об основание.

Результаты исследования. На этапе рабочего проектирования средств физической защиты разработчику необходимо принимать оптимальные конструктивные решения и обосновывать их эффективность [11 – 13]. Данная задача осложняется тем, что каждый раз при организации охраны периметра нового объекта возникают иные условия эксплуатации мобильного заграждения, не похожие на предыдущие. Так в зависимости от вида основания, на которое устанавливается изделие, а также времени года и наличия атмосферных осадков меняется один из основных параметров определяющих работу конструкции при внешнем воздействии – коэффициент трения скольжения. В связи с этим исследовался характер изменения реакций, возникающих в элементах связей между отдельными блоками, а также поведение конструкции от указанного параметра.

Количественная оценка влияния коэффициента трения скольжения на поведение конструкции под действием поперечной кратковременной динамической нагрузки выполнена по углу поворота ударяемого блока вокруг его продольной оси. На рисунке 2 представлены зависимости угла поворота ударяемого блока вокруг продольной оси от времени, вычисленные при коэффициентах трения скольжения, имеющих значения от 0,2 до 0,7 включительно с шагом 0,1.

Увеличение коэффициента трения приводит к росту сил сопротивления, вызванных трением скольжения, а также инерционных сил, являющихся нежелательными и способствующими опрокидыванию механической цепи, что недопустимо с точки зрения тактики применения мобильного заграждения. Из рисунка 2 видно, что рост значения коэффициента трения скольжения от 0,2 до 0,6 ведет к увеличению

угла поворота вокруг продольной оси блока, испытывающего непосредственно поперечный удар. При этом следует отметить, что опрокидывания ударяемого блока и цепи в целом не происходит, поскольку в течение времени взаимодействия мобильного ограждения с транспортным средством, по мере остановки последнего, угол поворота возвращается к своему первоначальному до соударения значению. Однако при коэффициенте трения скольжения равного 0,7 происходит резкий рост угла поворота, что свидетельствует об опрокидывании и не обеспечении изделием заявленных технических характеристик по остановке прорывающегося транспортного средства. В связи с этим дальнейшие исследования проведены для коэффициента трения скольжения со значениями от 0,2 до 0,6 включительно с шагом 0,1.

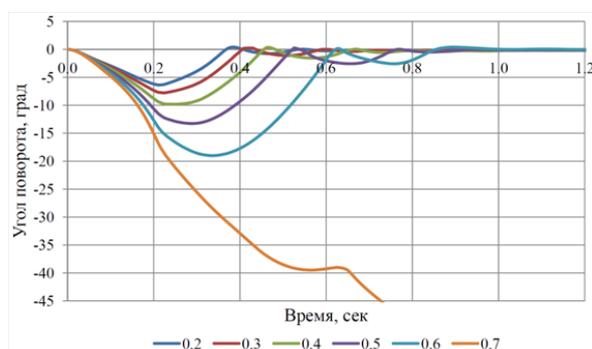


Рисунок 2 – Зависимость угла поворота по времени от коэффициента трения скольжения

Главными конструктивными элементами, определяющими общую неразрывность механической цепи при внешнем воздействии, являются элементы связей, поскольку сами железобетонные блоки имеют несомненно большую прочность.

На рисунке 3 и 4 представлены зависимости, характеризующие изменение значений по времени продольных и поперечных составляющих реакций в связях между блоками от коэффициента трения скольжения.

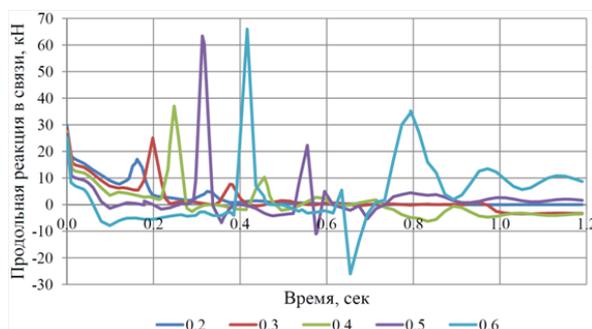


Рисунок 3 – Зависимость продольной реакции в связи по времени от коэффициента трения скольжения

Из полученных при моделировании зависимостей видно, что увеличение коэффициента трения скольжения вызывает резкий рост внутренних усилий, возникающих в элементах связей между блоками. Это обусловлено возрастающим действием внешних сил

трения и инерции на звенья мобильного ограждения. При этом следует отметить, что по своим абсолютным значениям продольные составляющие реакций в связях в разы больше чем поперечные [14, 15]. Тем самым подтверждается тот факт, что изделие, состоящее из отдельных железобетонных блоков соединенных между собой, ведет себя под внешним воздействием как цепь или изгибно-жесткая нить. Поскольку в силу особенностей работы таких элементов при действии поперечной нагрузки вектор, соответствующий внутреннему усилию, всегда направлен по касательной к его оси [16, 17].

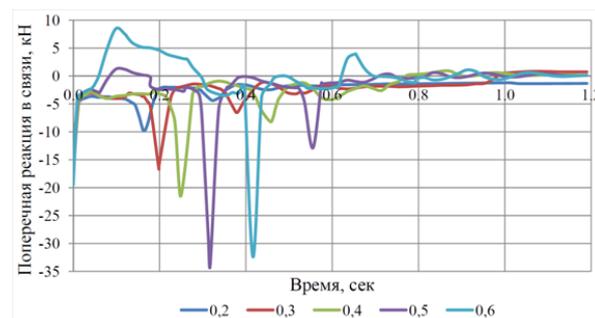


Рисунок 4 – Зависимость поперечной реакции в связи по времени от коэффициента трения скольжения

Заключение. Проведенное компьютерное моделирование поведения мобильного ограждения на основе модели механической цепи под действием поперечной кратковременной динамической нагрузки позволило выявить влияние коэффициента трения скольжения на работу и распределение внутренних усилий в элементах конструкции. Полученные данные дают возможность повышать сопротивление мобильного ограждения к ударному воздействию посредством принятия эффективных технических решений снижающих коэффициент трения скольжения в паре «мобильное ограждение – основание для его установки». Данный способ в отличие от традиционных путей решения задачи по повышению несущей способности той или иной конструкции не требует увеличения геометрических параметров сечений элементов, а также прочностных характеристик материала изделия. Результаты проведенного исследования позволят при разработке подобных устройств применять менее материалоемкие конструктивные решения и тем самым более экономически оправданные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Осипенко, М.А. Задача об одностороннем контакте гибкой нерастяжимой нити и твердого тела / М.А. Осипенко // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2015. – №1(33). – С. 82-87.
- Тарасов, Д.А. Исследование влияния пластических деформаций при моделировании напряженно-деформированного состояния гибкой нити / Д.А. Тарасов, А.В. Липов, А.М. Иррышков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 1 (33). – С. 98–110.
- Дремова, Н.В. Математическая модель в задачах динамических систем с гибкими нитями / Н.В. Дремова, Т. Мавлянов // В сборнике: ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО И СЕРВИС В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ [Текст]: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конферен-

ции (4-5 июня 2014 года) / ред-кол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); В 3-х томах, Том 1., Юго-Зап. гос. ун-т. Курск. – 2014. – С. 197-201.

4. Тарасов, Д.А. Конструкция защитного сооружения от удара для железнодорожных переездов / Д.А. Тарасов, В.В. Коновалов, В.Ю. Зайцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1 (18). – С. 111-117.

5. Патент на изобретение №2621774 РФ. Противотаранный барьер / Д.А. Тарасов, П.А. Косяков, Н.А. Шалапин, О.Л. Шаповал. – 2015145382; заявл. 21.10.2015; опубл. 07.06.2017, Бюл. №16. – 11 с.

6. Патент на изобретение №2694376 РФ. Противотаранные откатные ворота / А.А. Кодоров, Д.А. Тарасов, Г.С. Большаков, И.В. Васильев, О.Л. Шаповал. – 2019102145; заявл. 24.12.2018; опубл. 12.07.2019, Бюл. №20. – 12 с.

7. Швецов, А.В. Противотаранное заградительное устройство / А.В. Швецов // Транспорт Российской Федерации. – 2016. – №2-3 (63-64). – С. 58-60.

8. Патент на полезную модель №191852 РФ. Противотаранное ограждение / Д.А. Тарасов, Г.С. Большаков, И.В. Васильев, О.Л. Шаповал. – 2019113635; заявл. 30.14.2019; опубл. 26.08.2019, Бюл. №24. – 8 с.

9. Елисеев, В.В. Моделирование и расчет противотаранного шлагбаума / В.В. Елисеев, Е.А. Оборин // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – №4. – С. 351-357.

10. Коновалов, В.В. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния гибкой нити при действии поперечного удара / В.В. Коновалов, Д.А. Тарасов, В.Ю. Зайцев, Ю.В. Родионов // В сборнике: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XXI Международной конференции. В 2-х томах. Под редакцией С.А. Никитова, Д.Е. Быкова, С.Ю. Боровика, Ю.Э. Плешивцевой. – 2019. – С. 313-317.

11. Елисеев В.В., Оборин Е.А. Деформация и пластическое разрушение балок дорожного ограждения при наезде автомобиля // Наука и техника в дорожной области. – 2014. – № 1. – С. 9-11.

12. Тарасов, Д.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния гибких нитей с учетом физической нелинейности / Д.А. Тарасов, Д.Ю. Семенов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 3 (23). – С. 175-185.

13. Tarasov, D. Mathematical modeling of deformations of flexible threads under their dynamic loading in the zone of material plasticity / D. Tarasov, V. Konovalov, V. Zaitsev, Yu. Rodionov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2019. № 1278-012014.

14. Безбородов, Р.С. Исследование динамики противотаранной цепи / Р.С. Безбородов, Ю.Л. Рутман // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 4 (63). – С. 119-123.

15. Демьянушко И.В., Карпов И.А. Расчет динамики наезда автомобиля на тросовое ограждение методом конечных элементов. Тез. докл. 71-ой науч.-метод. конференции МАДИ. – М.: Изд - во МАДИ, 2013. – С. 59-61.

16. Сильников, Н.М. Обзор зарубежных методик испытания и оценки противотаранных устройств / Н.М. Сильников, П.Д. Панов, А.С. Панков // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2017. – № 11-12 (113-114). – С. 101-108.

17. Tarasov, D. Mathematical modeling of the stress-strain state of flexible threads with regard to plastic deformations / D. Tarasov, V. Konovalov, V. Zaitsev, Yu. Rodionov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018. № 1084-012008.

18. Протокол № 1720/U0/W/W/86-13 испытаний противотаранного устройства облегченного типа ПТУ-Л «PREPONA T1145» ДАБР.425728.002 автомобилем типа ГАЗ-3307. – п. Автополигон, Дмитровский район, Мо-сковская область: Испытательный центр НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», 2013. – 20 с.

Статья поступила в редакцию 07.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 004.58

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0015

ФОМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

©2021

Дунаева Кристина Викторовна, аспирант

Брянский государственный технический университет

(241902, г. Брянск, рп Белые Берега, ул. Пролетарская 4-51, e-mail: dkv.51@yandex.ru)

Аннотация. В современных условиях на любом предприятии присутствует потребность в комплексной автоматизации бизнес-процессов. Она ярко проявляется по мере развития бизнеса, так как усложняется производственная структура, бизнес-архитектура становится более разветвленной, вследствие чего увеличивается разнообразие функционала. В производственных отношениях возникает новая потребность – поддержка и управление рабочими процессами в ходе автоматизации и форматирования бизнес-архитектуры предприятия. Задачей исследования в условиях трансформации системы в текущей хозяйственной деятельности является реализация принципов гибкого автоматического управления бизнес-процессами. Данные системы не могут функционировать только за счет технического обеспечения, они образуют общую систему взаимодействия в том числе человеческого и компьютерного потенциала. Внедрение принципов автоматизации обеспечивает эффективность эксплуатационного поведения бизнес-систем. При этом создание и интеграция корпоративных приложений дает возможность неограниченного обмена данными и бизнес-процессами во всех сетевых приложениях или источниках данных в организации. Интеграционное решение должно быть адаптивным для того, чтобы координировать различные объекты в условиях непредсказуемого и асинхронного поведения. Настройка адаптивного реагирования возможна только в стабильных процессах, в рамках которых существует накопленный опыт для корреляции асинхронных ответов на запросы. В данной статье рассмотрено формирование адаптивной ИТ-стратегии промышленного предприятия в условиях автоматизации бизнес-процессов, применяемой для согласованного взаимодействия всех этапов производственной цепочки предприятия. Приведены иллюстрации с применением инструментов проектирования рабочих процессов для моделирования и выполнения.

Ключевые слова: адаптивная ИТ стратегия, корпоративная информационная система.

FORMATION OF A STRATEGIC CONCEPT FOR THE DEVELOPMENT OF THE CORPORATE INFORMATION SYSTEM OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

© 2021

Dunaeva Kristina Viktorovna, post-graduate student

Bryansk State Technical University

(241902, Bryansk, Belye Berega, Proletarskay st., 4-51 e-mail: dkv.51@yandex.ru)

Abstract. In modern conditions at any enterprise there is a need for complex automation of business processes. It clearly manifests itself as the business develops, as the production structure becomes more complex, the business architecture becomes more ramified, as a result of which the diversity of functionality increases. A new need arises in industrial relations to support and manage workflows while automating and formatting an enterprise's business architecture. The task of the study in the context of the transformation of the system in the current economic activity is the implementation of the principles of flexible automatic management of business processes. These systems cannot function only due to technical support, they form a common system of interaction, including human and computer potential. Implementation of the principles of automation ensures the efficiency of the operational behavior of business systems. At the same time, the creation and integration of enterprise applications enables unlimited exchange of data and business processes in all network applications or data sources in the organization. The integration solution must be adaptive in order to coordinate different objects in the face of unpredictable and asynchronous behavior. Tuning adaptive responsiveness is only possible in stable processes within which there is accumulated experience to correlate asynchronous responses to requests. This article discusses the formation of an adaptive IT strategy for an industrial enterprise in the context of business process automation, used for the coordinated interaction of all stages of the production chain of an enterprise. Illustrated using workflow design tools for modeling and execution.

Keywords: adaptive IT strategy, corporate information system.

Введение. Рынок электротехнической продукции является зависимым от уровня развития таких отраслей, как нефтегазовый сектор, энергетика, ЖКХ, сельское хозяйство и другие. На сегодняшний день экономическое положение страны в целом, а также ключевых отраслей промышленности демонстрирует постепенное выравнивание темпов развития по срав-

нению с ситуацией 2020 года. Однако, в 2020 году реальные располагаемые доходы населения снизились на 5,5%, что вероятно, затронет все отрасли и повлияет на дальнейшее сокращение спроса. Таким образом, возрастает необходимость внедрения информационных технологий в процесс планирования отрасли, систему операционных процессов проектирования с

целью разработки и производства электронной продукции, дополнительного сбора отраслевой статистики, сопровождения закупочной деятельности на всех этапах и продвижения на рынке новой продукции. Также, согласно «Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» важнейшим механизмом построения современного, эффективного промышленного предприятия является создание и институционализация «ИТ-стратегия» предприятий, разработка бизнес-архитектуры и организационно-методическая поддержка управления ИТ [4, 20-22].

Целью работы является повышение качества работы аналитика за счет подстройки формальных описаний бизнес-процессов предприятия, имеющих различия между собой.

Материалы и результаты исследования. Рассмотрим предприятия, изготавливающие продукцию для военной промышленности, которая реализуется в рамках гособоронзаказа в соответствии с требованиями закона 275-ФЗ, то в большинстве случаев изделия производятся под конкретный заказ покупателя. Планы производства формируются на месяц исходя из заказов покупателей. Производственная программа формируется в условиях неопределенности, что влечет за собой наличие невостребованных рынком позиций и как следствие, дополнительный объем незавершенного производства. В этих условиях предприятия с достаточно широкой номенклатурой продукции сталкиваются с еще одной проблемой – невозможностью быстрой оценки релевантных затрат на разрабатываемое изделие. Что в дальнейшем несет за собой сложность и необходимость в формализации и оптимизации производственной площадки. Рассматривая в этом случае организацию – как совокупность бизнес-процессов можно выстроить адаптивную архитектуру, способную за счет сравнения формального описания модели устранять возможные ошибки. Бизнес-процесс предприятий состоит из последовательного набора операций. Порядок выполнения данных операций в рамках бизнес-процесса, четко определен технологией или соответствующими набором правил и инструкций, которые в свою очередь определяют бизнес-логику процесса, являются необходимыми его характеристиками [7, 14].

Рассмотрим основные достоинства внедрения автоматизации бизнес-процессов предприятия:

1. Реализация сложных процессов – с отличным инструментарием и нотациями легко проектировать и реализовывать сложные процессы, используя концепции бизнес-процессов.

2. Быстро меняющиеся бизнес-процессы требуют частых изменений из-за различных ограничений и улучшений. Решение *BPM* поддерживает применение быстрых изменений, чтобы позволить предприятию быстро адаптироваться к этим изменениям для повышения удовлетворенности клиентов и повышения производительности.

3. Переход к корпоративной мобильности – авто-

матизированные процессы позволяют сотрудникам работать удаленно, повышая удовлетворенность сотрудников и помогая им стать более продуктивными на работе.

4. Улучшение обслуживания клиентов – четко определенные бизнес-процессы повышают производительность предприятия с дополнительным преимуществом улучшения обслуживания клиентов [17].

Процессно-ориентированный подход руководства предприятием дает возможность получить такую структуру, работа которой нацелена на повышение качества конечного продукта и конкурентоспособность. Следует отметить, что залогом высокой конкурентоспособности является адаптация своей ИТ-стратегии к организационным преобразованиям [1,8].

Внутренние бизнес-процессы компании разделяют на основные и вспомогательные. Основные процесс, такие как разработка нового продукта и его вывод на рынок либо стандартные производственные процессы создают ценность для потребителя процесса. Вспомогательные же процессы (финансовый менеджмент, управление персоналом и т. д.) не добавляют ценности, и представляют собой инфраструктуру компании.

Сочетание сквозных бизнес-процессов внутри бизнеса позволяет связать процессы закупок, логистики, производства и продажи продукции. При построении цепочки ценности управленческого процесса основной интерес направлена на разработку последовательности задач согласовывающих взаимодействия внутри процесса как между отдельными департаментами внутри компании, так и с внешними участниками, то есть с потребителями, поставщиками и партнерами.

В данной концепции построения бизнес-архитектуры предприятия необходима увязка всех функциональных связей в ИТ-стратегию, которая представляет собой подробное описание направлений и перспектив адаптации информационных технологий в деятельность предприятия. Требования и ожидания потребителей со стороны внешней среды формирует потребности, основанные на глобальных изменениях рыночной экономики. Скорость реагирования предприятия на рыночные запросы напрямую влияет на конкурентоспособность предприятия. В условиях позаказной системы планирования при достаточно широкой номенклатуре производимой продукции проблема возникает уже на стадии обоснования стоимости и сроков выполнения заказа для конкретного потребителя. Для повышения скорости реагирования и формирования устойчивой функциональной связи необходима адаптивная поддержка со стороны ИТ-стратегии предприятия [14, 15].

Одна из самых больших трудностей – это трансформация целей бизнеса в ИТ цели. Согласно стандарту *CobiT 4.1* для достижения согласованности данных метрик необходимо для всех процессов организации выделить [3]:

1. Ключевые индикаторы достижения цели (*KGI*) – метрики, которые показывают руководству, достиг-

ноту ли ключевые цели бизнеса с помощью ИТ-процесса, и в какой мере.

2. Ключевые показатели эффективности (KPI) – метрики, которые показывают, насколько корректно работает ИТ-процесс.

3. Степень зрелости процесса – определяется по шкале от 0 до 5 (5 – высшая оценка, когда процессы налажены до уровня передовой практики).

Поэтому на этапе планирования архитектуры корпоративной информационной системы управления предприятием необходимо провести оценку и согласованности стратегии ИТ-целей, ИТ-процессов связей между ними (рис. 1).

Рассматривая систему процессов организации целесообразно провести разграничение внешнего конту-

ра (информационный поток взаимодействия с внешней средой организации) и внутреннего (информационное сопровождение операционной деятельности организации). Первый поток формирует открытость организации за счет взаимодействия организации в первую очередь с потребителями и поставщиками. Внутренний контур согласовывает материальные потоки из внешней среды и нацелен на обслуживание процесса управления, включающего в себя прогнозирование, планирование, контроль, регулирование и анализ (рис. 2). Таким образом, оба контура управления: оперативный и стратегический основываются на агрегированной информации системы ценностей и информации о внешней среде, получаемых из сторонних источников компании.

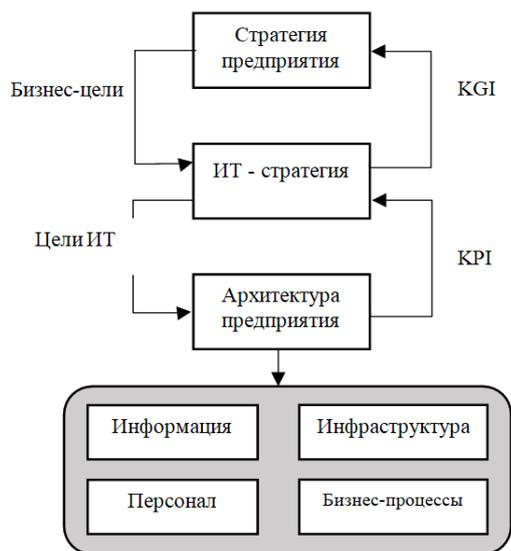


Рисунок 1 – Последовательность шагов при разработке ИТ-стратегии в соответствии с CobiT 4.1

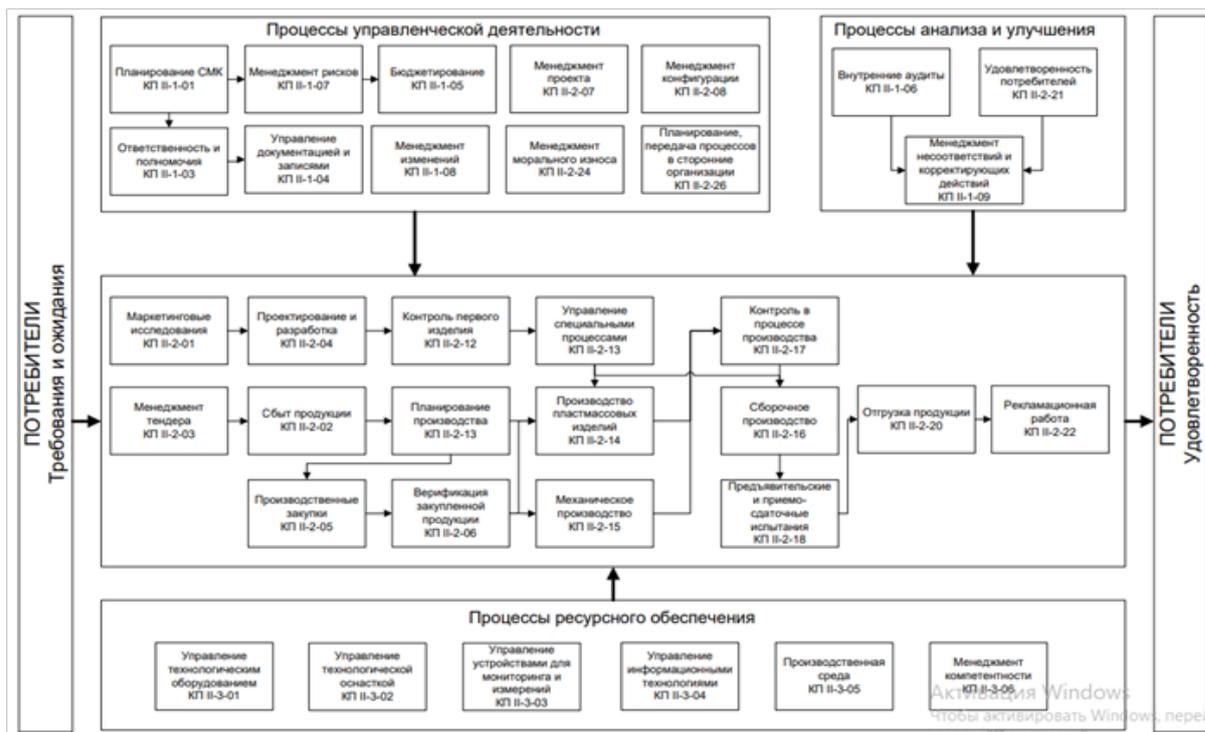


Рисунок 2 – Бизнес-процессы промышленного предприятия, охватываемые ИТ стратегией

Таким образом, корпоративная информационная система формирует агрегированный поток информации для обеспечения конкурентоспособности и повышения эффективности деятельности организации. В условиях динамичного развития внешнего рынка и меняющихся требований со стороны потребителей ИТ-стратегия предприятия должна быть достаточно гибкой, позволяя вносить изменения в структуру бизнес-процессов не нарушая целостности архитектуры.

Общая концепция ИТ-стратегии должна обеспечивать внедрение адаптивных практик, фокусируясь на динамических процессах организации. Детерминированные характеристики могут применяться лишь для сложных систем. Стратегия обеспечения адаптивности является частью общей ИТ-стратегии, вне зависимости от того в каком виде последняя институционализирована на предприятии – как порядок или как правила поведения.

С точки зрения оптимизации расходов связанных с изменениями, необходимо спрогнозировать IP-компоненты и их взаимосвязи, с целью расширения количе-

ство внешних событий, для компенсации их последовательным изменениям [2].

Для функционирования ИТ стратегии необходимо выполнение следующих условий:

- описание действующей и прогнозируемой архитектуры информационных систем и баз данных;
- обеспеченность ИТ-отделов оборудованием («железной» инфраструктурой) и персоналом, которые обслуживают информационные системы и серверное оборудование;
- структура затрат на информационное сопровождение бизнес-процессов, включающая внутренние и внешние затраты на предприятии;
- основные вехи и описание ИТ-проектов в укрупненном виде [16, 18].

На примере промышленного предприятия видно, что основной проблемой при разработке новой ИТ-стратегии является наличие нетипового функционала в процессах и невозможность быстрой подстройки под изменяющиеся потребности предприятия (табл. 1).

Таблица 1 - Проблемы и опыт внедрения ИТ-стратегии на промышленном предприятии

Проблемы	Возможные решения проблемы
Отсутствие выверенной НСИ и остатков в исторической системе (дубли, противоречия)	Доработка правил Отказ от повторных загрузок Перенос и сверка данных отдельными обработками
Типовые правила переноса из 1С:УПП в 1С:ERP корректно переносят не всю информацию. Дублируют НСИ и остатки	По мере возникновения проблем исправление НСИ в 1С:ERP или исторической системе вручную или обработками Перезагрузка данных несколько раз
При попытках самостоятельно внедрить отдельные блоки нарушается работа системы	Исправление учета «на ходу» Формирование компромиссных решений Перенос сроков внедрения новых блоков
Обнаружение нетипового функционала 1С:УПП	Изменение учета Адаптация системы Функционал частично остается в исторической системе
Учетная политика не соответствует потребностям экономического анализа	Отказ от части функционала типовой конфигурации
Наиболее полный функционал 1С:ERP доступен только при применении методики списания ТМЦ по FIFO	Создание дополнительных отчетов для анализа данных
1С:ERP поддерживает не все учетные процессы Заказчика	Изменение учетных процессов Создание дополнительных отчетов для анализа данных
Сложность исправления в 1С:ERP ошибок в учете, если они затрагивают длинную «цепочку» документов	Моделирование способа исправления в тестовых базах Создание инструкции по исправлению Создание специальных обработок
Использование бесплатной Postgre SQL в целях экономии. При закрытии месяца перестают проводится регламентные операции, часть сотрудников вообще не может войти в базу	Донастройка сервера Переход на MS SQL

Операционными параметрами адаптивного предприятия являются время и расходы на проведение изменений, а так же объем этих изменений, стабильность всего процесса проведения изменений.

Основная работа по сохранению адаптивности стратегических решений является проактивной, т.е. ценность приобретают навыки прогнозировать изменения и неоднократно использовать существующие компоненты данной инфраструктуры. Однако реакция на изменения потребностей рынка не должна вносить противоречия в целеполагание деятельности компании. Требования рынка не должны накладывать взаимоисключающие требования на функциональное взаимодействие бизнес-процессов.

Заключение. Таким образом, применение процессно-ориентированного подхода к формированию адаптивно ИТ-стратегии предприятия помогает найти структурные и процедурные ошибки управления на всех этапах планирования, а так же обеспечить высокие показатели на этапе внедрения, сократить трудозатраты на сохранение и развитие системы; сократить как стоимость проекта так и сроки его внедрения в целом. При разработке бизнес-архитектуры предприятия акценты были сделаны на внедрении систем, поддерживающих процессы разработки новой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Коренная, К.А. Интегрированные информационные си-

- стемы промышленных предприятий [Текст] / К.А. Коренная, О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 315 с.
2. Зеленков, Ю.А. Адаптивность корпоративных информационных систем [Текст] / Ю.А. Зеленков // Вестник РГАТУ имени П.А.Соловьева. – 2012. – № 2 (23). – С. 161-168.
3. CobiT 4.1 [Электронный ресурс] / IT Governance Institute, 2019. – Режим доступа: <http://www.isaca.org/Knowledge-Center/cobit/Documents/COBIT4.pdf>
4. Савельев, И. В. Модель принятия решения о внедрении ERP-системы на предприятии: дис.... канд. экон. наук: 08.00.13 — Математические и инструментальные методы экономики / Мск. гос. ун-т экономики статистики информатики. М.:, 2013. 157 с.
5. Целесообразность внедрения ERP: экономическая выгода и прибыль // Корпоративный менеджмент. URL: <https://www.cfin.ru/itm/kis/expedience.shtml> (дата обращения: 10.05.2021).
6. Экономический эффект от внедрения ERP-систем «1С» // 1С:ERP Управление предприятием 2. URL: <https://tab-is.ru/1s-erp-upravlenie-predpriyatiem-2-2/jekonomicheskij-jeffekt-ot-vnedrenija-erp-sistem-1s/> (дата обращения: 20.05.2021).
7. Власова, М. И. Анализ эффективности внедрения ERP-систем в организациях строительной отрасли / М. И. Власова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 49 (235). — С. 341-343. — URL: <https://moluch.ru/archive/235/54554/> (дата обращения: 30.05.2021).
8. Зеленков, Ю.А. Искусство бега по граблям. Стратегическое управление ИТ в условиях неопределенности [Текст] / Ю.А. Зеленков. – М.: Да!Медиа, 2013. – 136 с.
9. Innoslate software for MBSE and Requirement Management [Электронный ресурс]. -Режимдоступа: <https://www.innoslate.com/systems-engineering/> (датаобращения: 30.05.2021).
10. IServer - Enabling Enterprise Transformation. [Электронный ресурс]. - Режимдоступа: <https://www.orbusoftware.com/isever/> (датаобращения: 30.05.2021).
11. McGovern J., Resnick M. Magic Quadrant for Enterprise Architecture Tools [Электронный ресурс]. - Режимдоступа: <https://www.gartner.com/en/documents/3970555> (дата обращения: 30.05.2021).
12. UML Modeling Tools for Business, Software, System and Architecture [Электронный ресурс]. - Режимдоступа: <https://sparxsystems.com/> (датаобращения: 30.05.2021).
13. UNICOM System TeamBlue: System Architecture [Электронный ресурс]. - Режимдоступа: <https://www.teamblue.unicomsi.com/products/system-architect/#> (датаобращения: 30.05.2021).
14. Данилин А., Слюсаренко А. Архитектура и стратегия. «Инь» и «янь» информационных технологий. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2013. - 504 с.
15. Зараменских Е. П., Кудрявцев Д. В., Арзуманян М. Ю. Архитектура предприятия: учебник для вузов / под ред. Е. П. Зараменских. - М.: Юрайт, 2020. - 410 с.
16. Кондратьев В. В. Управление архитектурой предприятия: конструктор регулярного менеджмента: учебное пособие и пакет мультимедийных приложений - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2019. - 358 с.
17. Мадорская, Ю.М. Схема Захмана при разработке требований к ИС: Практика проектирования систем.-2015. [электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://zachman-framework.com/> (дата обращения: 30.05.2021).
18. Рубенчик, Андрей. Моделирование архитектуры предприятия. Обзор языка ArchiMate. Корпоративный менеджмент. [электронный ресурс]. - Режим доступа: www.cfin.ru/itm/standards/ArchiMate.shtml, (дата обращения: 30.05.2021)
19. Басманов В.Г. Анализ структуры российского рынка электрооборудования [Текст] / В.Г. Басманов // Общество, наука, инновации.-2016.-№2. – С.18-26.
20. Тенденции и проблемы состояния и развития электротехнической промышленности на мировом и российском уровне [электронный ресурс].-Режим доступа:http://studbooks.net/847400/menedzhment/teoretiko_metodicheskie_osnovy_formirovaniya_gibkoy_organizatsionnoy_strukturnoy_predpriyatiya(дата обращения: 30.05.2021)
21. Электротехника России [электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://newsruss.ru/doc/index.php>(дата обращения: 30.05.2021)
22. Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года –Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73340483/> (дата обращения: 30.05.2021)

Статья поступила в редакцию 08.06.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 614.2: 004.9

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0016

СТРУКТУРА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ

© 2021

Бекбай Айнур Токтаргаликызы, докторант

Ожикенов Касымбек Адильбекович, кандидат технических наук,
заведующий кафедрой «Робототехники и технических средств автоматизации»

НАО КазНИТУ имени К.И. Сатпаева

(050013, Казахстан, Алматы ул. Сатпаева, 22а, e-mails: ainura_b.t@mail.ru, k.ozhikenov@satbayev.university)

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук,
профессор кафедры «Техническое управление качеством»
Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / улица Гагарина, д.1а/11, bodin_o@inbox.ru)

Чекайкин Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Техническое управление качеством»
Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / улица Гагарина, д.1а/11)

Алимбаев Чингиз Абдраимович, доктор phd,
лектор кафедры «Робототехники и технических средств автоматизации»

НАО КазНИТУ имени К.И. Сатпаева

(050013, Казахстан, Алматы ул. Сатпаева, 22а, e-mail: c.alimbayev@stud.satbayev.university)

Аннотация. Повышение эффективности диагностики функционального состояния организма на основе современных информационных технологий является актуальной задачей системы здравоохранения. Современные технологии дают возможность врачу получать пространственно-временную информацию о состоянии человека, удобную для визуального восприятия. Целью статьи является разработка структуры медицинской информационной диагностической системы на основе мультиагентной технологии с использованием облачных вычислений. С этой целью предлагается создание «цифровых двойников», моделирующих активность систем и органов человека и отображающих их физическое состояние. Назначение таких двойников – выявление и прогнозирование течения заболеваний, индивидуализация назначаемых лечебных процедур, выработка рекомендаций по корректировке образа жизни предотвращения осложнений. Так цифровой двойник сердца осуществляет по электрокардиосигналам анализ и визуализацию информации об электрической активности сердца, информационное взаимодействие с другими интеллектуальными агентами системы. На основе мультиагентной технологии разработана структура медицинской информационной системы, позволяющей расширить функциональные и диагностические возможности неинвазивной электрокардиодиагностики при скрининговом обследовании населения.

Ключевые слова: медицинская информационная система, мультиагентная технология, облачные вычисления, цифровой двойник сердца, прогнозирование внезапной сердечной смерти.

STRUCTURE OF THE MEDICAL INFORMATION SYSTEM BASED ON MULTI-AGENT TECHNOLOGY

© 2021

Bekbay Ainur Toktargalikyzy, PhD student

Ozhikenov Kassymbek Adilbekovich, candidate of technical sciences,
head of the department of "Robotics and Technical Means of Automation"

Satbayev University

(50013, Kazakhstan, Almaty, Satpayev str., 22a, e-mails: ainura_b.t@mail.ru, k.ozhikenov@satbayev.university)

Bodin Oleg Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor
of the department of «Technical Quality Management»

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov passage / Gagarina street, 1a / 11, bodin_o@inbox.ru)

Chekaykin Sergey Vasilyevich, candidate of technical sciences, associate professor,
head of the department "Technical Quality Management"

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov passage / Gagarina street, 1a / 11)

Alimbayev Chingiz Abdaimovich, doctor of Phd,
lecturer of the department of "Robotics and Technical Means of Automation"

Satbayev University

(50013, Kazakhstan, Almaty, Satpayev str., 22a, e-mail: c.alimbayev@stud.satbayev.university)

Abstract. Improving the efficiency of the health care system in the diagnosis of the functional state of the body (FSB) on the basis of modern information technologies is an urgent task. At the same time, it becomes possible to present to doctors in a visual form spatiotemporal information about the FSB. The purpose of the article is to develop the structure of the medical information system (MIS) of a medical organization based on multi-agent technology and cloud computing. It is proposed to use the technology of "digital doubles" (DD), which simulates the body, systems and organs of a person, and displays his physical condition. The mission of the DD in the field of medicine is to make treatment individualized for each person, to learn how to predict certain diseases, as well as to give recommendations on the lifestyle to prevent them. The heart's central nervous system uses electrocardiosignals (ECS) to analyze and visualize the electrical activity of the heart (EAH); to model and monitor the state of the EAH; intelligent interaction with other intelligent MIS agents. The developed structure of the MIS based on multi-agent technology allows to expand the functional and diagnostic capabilities of non-invasive electrocardiodiagnostics in the examination of the general population.

Keywords: medical information systems, multi-agent technologies, cloud computing, digital heart twin, predicting sudden cardiac death.

Введение. В современных условиях совершенствование системы здравоохранения связано с переводом медицины в цифровой формат [1] и использованием искусственного интеллекта [2], что позволяет повысить качество оказываемых медицинских услуг, в том числе, с использованием сети Интернет, когда осуществляется оценка функционального состояния организма и прогнозирование динамики лечения [3 – 6], а также предоставление врачу необходимой справочной информации [7]. Однако, анализ способов и средств диагностики функционального состояния организма в рамках медицинских информационных систем организации здравоохранения показывает, что они не обеспечивают необходимую эффективность диагностики. Без использования современных информационных технологий невозможно получение достоверной информации о функционального состояния организма пациента.

По мнению авторов, мультиагентная технология является инструментом, обеспечивающим реализацию решений врача в составе медицинской информационной системы медицинской организации [8] и

необходима для интеллектуального сбора и анализа данных о лекарственных препаратах и лечебно-диагностических процедурах параметрах функционального состояния организма человека, записей электронных медицинских карт пациентов.

Избежание врачебных ошибок и повышение эффективности оказания медицинских услуг является основной задачей, на решение которой направлено использование современных информационных технологий.

Материалы и методы исследования. Мультиагентная система представляет собой комплекс аппаратно-программных средств, включающий сервер медицинской информационной системы медицинской организации (МИС МО) на котором расположены база данных с системой управления, мультиагентная подсистема с выходом через локальную сеть медицинской информационной системы медицинской организации к автоматизированным рабочим местам пользователей и интернет-порталу МИС МО, а также с выходом в единую государственную информационную систему здравоохранения (рис. 1).

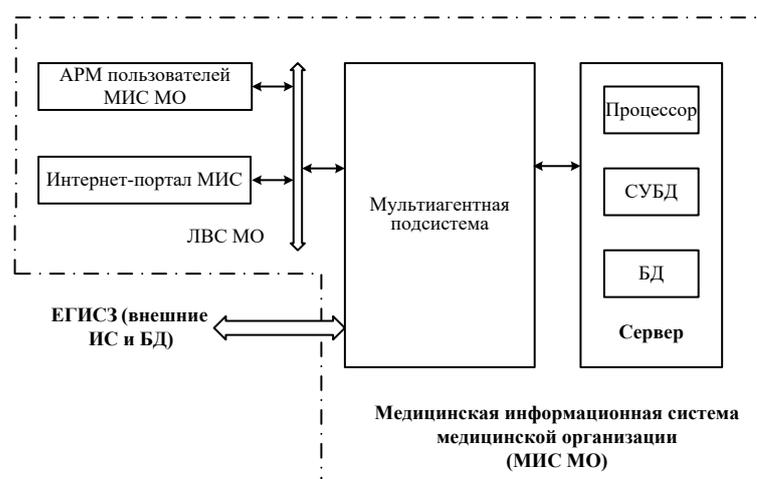


Рисунок 1 – Структура медицинской информационной системы медицинской организации

Мультиагентная система обеспечивает сбор данных для:

- ведения база данных медико-экономических групп база данных лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур и база данных пара-

метров человека;

- поиска медицинских данных о состоянии здоровья пациента путем взаимодействия с МИС других МО, находящихся в структуре единой государственной информационной системы здравоохранения и

формирования (редактирования) электронная медицинская карта пациента;

- обеспечения информационной надежности путем защиты данных и доступа к внешним системам и база данных, а также обеспечения целостности данных МИС МО;

- индивидуализации оптимальной схемы лечения пациента путем определения перечня рекомендованных к применению лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур с учетом противопоказаний индивидуальной непереносимости;

- корректировки параметров индивидуальной схемы лечения путем сравнения фактических параметров состояния здоровья пациента с целевыми из база данных параметров человека, выявления отклонения и формирования корректирующего воздействия при обнаружении отклонений, пользование которыми специалистами МО осуществляется через автоматизированным рабочим местам (ноутбуки, планшеты, терминалы и т.п.) с помощью встроенных в них средств индивидуализации схемы лечения.

Работа мультиагентная система состоит в разбиении сложной задачи, решаемой одним объектом – централизованной МИС, на более простые задачи, обрабатываемые несколькими объектами – распределенной системой интеллектуальных агентов. Обоснование количества и функционала интеллектуальных агентов определяется функционалом МИС:

- сбор и анализ данных;
- контроль процесса лечения;
- управление схемой лечения;
- обеспечение безопасности и надежности функционирования системы.

Как показано на рисунке 2, в функционировании МАС участвуют пять агентов, а именно агент ведения база данных лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур, агент формирования электронных медицинских карт, агент индивидуализации схемы лечения, агент прогноза течения болезни и агент информационной надежности. Каждый из них имеет собственные цели и назначение. Агент ведения база данных лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур и агент формирования электронных медицинских карт имеют локальную и мобильную части. Локальная часть расположена на сервере МО и выполняет функции, связанные с анализом, обработкой и визуализацией данных. Мобильная часть интеллектуальных агентов «путешествует» по сети, собирая информацию по запросу пользователя МИС МО. Остальные агенты являются локальными и за пределы МИС МО не выходят. Но, взаимодействуя, все пять интеллектуальных агентов работают для достижения общей цели, которая заключается в оптимизации, индивидуализации, персонализации и повышении на этой основе эффективности оказываемых лечебно-диагностических услуг.

Инициализация работы МАС выполняется любым из интеллектуальных агентов в зависимости от запроса пользователя внутри МИС МО или пользователя из

единой государственной информационной системы здравоохранения, и начинается с уведомления агентом блока управления база данных о начале его работы. Это подключает всех остальных интеллектуальных агентов, которые также уведомляют сервер имен о своих именах и IP-адресах; затем сервер имен обновляет свою база данных и выполняет необходимую процедуру регистрации интеллектуальных агентов; все агенты уведомляют блок управления база данных о своих задачах. После этого блок управления база данных заполняет свою базу данных информацией о способностях интеллектуальных агентов. После процесса инициализации агенты начинают свою работу. Одним из основных интеллектуальных агентов, обеспечивающих эффективность лечения, является агент прогноза течения болезни, в составе которого необходимо выделить цифровой двойник сердца.

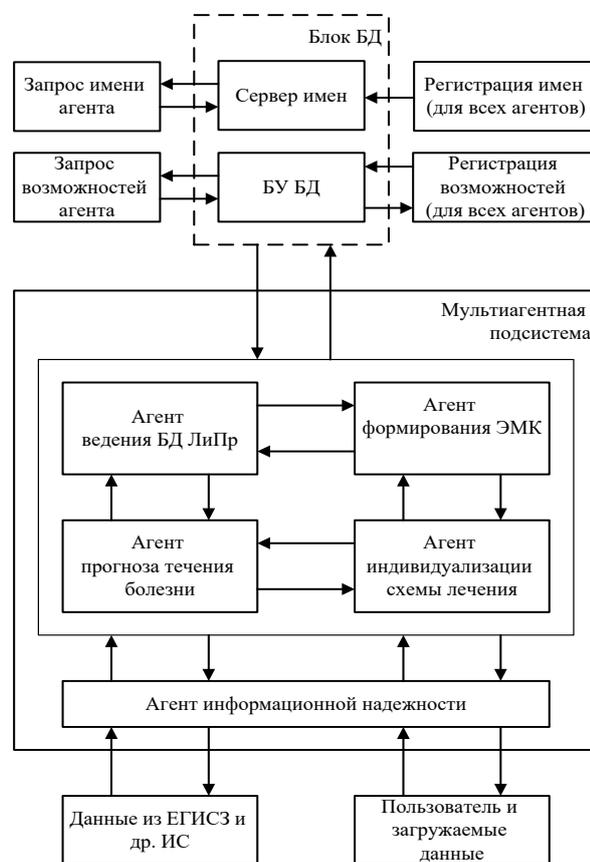


Рисунок 2 – Структура мультиагентной системы в медицинских информационных системах организации здравоохранения

При решении любых задач все интеллектуальных агентов взаимодействуют с агентом информационной надежности, который организует и контролирует допуск к работе со всеми база данных при запросах из локальной вычислительной сети МИС МО или из единой государственной информационной системы здравоохранения.

Результаты исследования. Таким образом, МАС незаменима при реализации важнейшей функции системы поддержки принятия врачебных решений – прогнозировании риска внезапной сердечной смерти,

представляющей собой сердечно-сосудистое осложнение, вызванное синергетическим взаимодействием факторов риска [9, 10]. Признаки ВСС выявляются цифровой двойник сердца [11]. Структурная схема цифрового двойника, приведенная на рисунке 3, содержит:

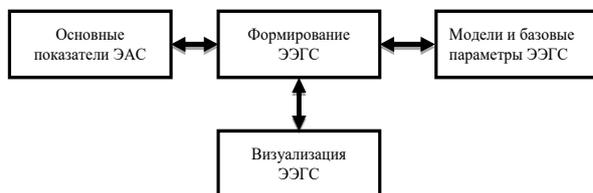


Рисунок 3 – Структурная схема цифрового двойника сердца

– блок моделей эквивалентных электрических генераторов сердца (ЭЭГС) на основе моделей поверхностей торса и эпикарда, предоставляющий выбор моделей и параметров ЭЭГС;

– блок формирования индивидуального ЭЭГС обследуемого на основании зарегистрированного электрокардиосигнала (ЭКС) и предоставляемых моделей;

– блок визуализации электрической активности сердца (ЭАС) на основании полученных индивидуальных ЭЭГС обследуемого;

– блок основных параметров сердца пациента, включая основные параметры сердечного ритма, параметры variability сердечного ритма, параметры гемодинамики, параметры ЭКГ ВР и др.

Цифровой двойник от блока регистрации ЭКС получает текущую электрокардиологическую информацию об обследуемом в виде записей ЭКС. Результаты обработки ЭКС цифровой двойник предоставляет агенту выбора схемы лечения. ЭАС анализируется с помощью эквивалентных распределенных динамических источников электрической активности – эквивалентных электрических генераторов сердца Л.И. Титомира, в классической монографии которого приведён основательный обзор работ по математическому моделированию ЭАС и построению моделей ЭЭГС [12, 13]. Мультипольная модель ЭЭГС Л.И. Титомира предоставляет принципиальную возможность точного решения электрокардиографических задач.

При ограниченных вычислительных возможностях сервера медицинской организации осуществляется выход на сервер единой государственной информационной системы здравоохранения для расчета ЭЭГС обследуемого, результаты которого возвращаются врачу-кардиологу и визуализируются (рис. 4) [14].

По результатам обследования электрической активности сердца пациента врач-кардиолог может спрогнозировать риск сердечно-сосудистых осложнений (ССО). Основными факторами риска сердечно-сосудистых осложнений являются [15]:

– показатели функционального состояния пациента, такие как снижение variability сердечного ритма [16] и наличие ишемической болезни сердца и инфаркта миокарда [17], гемодинамически значимой аритмии из-за низкой фракции выброса левого желу-

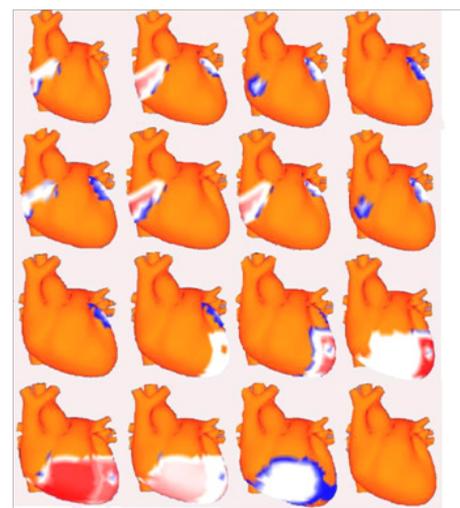
дочка [10], артериальной гипертензии, сахарного диабета и повышенного холестерина;

– состояние окружающей среды [18];

– образ жизни пациента и наличие вредных привычек [19, 20].



А – Зарегистрированный электрокардиосигнал



Б – Облачное моделирование распространения возбуждения

Рисунок 4 – Визуализация результата обследования пациента на мониторе автоматизированным рабочим местам врача-кардиолога

Алгоритм прогноза сердечно-сосудистых осложнений построен на балльном подходе, согласно которому риск ССО определяется простым суммированием баллов по факторам риска.

Заключение. Проведённое исследование показало, что наличие цифрового двойника сердца в составе медицинской информационной системы обеспечивает выявление предрасположенности и предотвращение внезапной сердечной смерти.

Разработанная структура медицинской информационной системы в состоянии обеспечить свободный доступ пациента к службам здравоохранения вне зависимости его местонахождения, значительно повысить эффективность и доступность высокотехнологичных

медицинских услуг и достоверно оценить функциональное состояние организма пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Паспорт национального проекта национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7. URL: <https://www.digital-energy.ru/trends/analytics/projects/digital-economy-of-the-russian-federation/>

2. Паспорт национального проекта «Здравоохранение», утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24 декабря 2018 г. № 16. URL: <https://www.digital-energy.ru/trends/analytics/projects/digital-economy-of-the-russian-federation/>

3. Сервис BIOT, дистанционный мониторинг здоровья и предупреждение развития заболеваний: сайт. – 2021. – URL: <https://biotservice.com/> (дата обращения: 01.07.2021)

4. Прогнозная аналитика и управление рисками в здравоохранении на основе машинного обучения: сайт. – 2021. – URL: <https://webiomed.ai/> (дата обращения: 01.07.2021)

5. КардиРу персональный контроль вашего сердца: сайт. – 2021. – URL: <https://kardi.ru/> (дата обращения: 01.07.2021)

6. Innovative platform for digital healthcare and wellness services: сайт. – 2021. – URL: <https://drsmart.io/> (дата обращения: 01.07.2021)

7. Справочник Врача: сайт. – 2021. – URL: <https://www.medsolutions.ru/#/manual/> (дата обращения: 01.07.2021)

8. Мультиагентные технологии в медицинских информационных системах / Безбородова О.Е., Крамм М.Н., Ожикенов К.А., Ожикенова А.К. Под редакцией О.Н.Бодина // Алматы: ТОО "Лантар Трейд", 2021 – 314 с.

9. Морман Д., Хеллер Л. Физиология сердечно-сосудистой системы. – С-Пб: Питер, 2000, 256 с.

10. Патент № 2644303 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), А61В 5/0456 (2006.01). Способ оказания экстренной кардиологической помощи : № 2016145352 : заявл. 18.11.2016 : опубл. 08.02.2018 / Бодин О.Н., Аржаев Д.А., Бодин А.Ю., Ожикенов К.А., Полосин В.Г., Рахматуллин А.Ф., Рахматуллин Р.Ф., Рахматуллин Ф.К., Сафронов М.И., Сергеев А.С., Убиенных А.Г. – 26 с.

11. Паспорт национального проекта национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7.

12. Титомир Л.И., Кнеппо П., Трунов В.Г., Айду Э.А.И. Биофизические основы электрокардиографических методов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 224 с.

13. Патент № 2651068 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), G06N 7/06 (2006.01). Способ неинвазивного определения электрофизиологических характеристик сердца : № 2017123613 : заявл. 05.07.2017 : опубл. 18.04.2018 / Бодин О.Н., Бодин А.Ю., Жихарева Г.В., Крамм М.Н., Палютин Ю.А., Стрелков Н.О., Черников А.И. – 40 с.

14. Патент № 2358646 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01). (54) Способ моделирования и визуализации распространения возбуждения в миокарде : № 2007123430/14 : заявл. 27.12.2008 : опубл. 20.06.2009 / Бодин О.Н., Гладкова Е.А., Кузьмин А.В., Митрохина Н.Ю., Мулюкина Л.А., Строкова И.В. – 23 с.

15. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии. – М.: Медицина, 1984, 528с.

16. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). Под ред. Бавского Р.М. // Вестник аритмологии, 2001, № 24, 65–87с.

17. Бокерия Л.А., Ревиншвили А.Ш., Неминуший Н.М., Проничева И.В. Внезапная сердечная смерть. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 352 с.

18. Патент № 2441600 Российская Федерация, А61В 10/00 (2006.01). (54) Способ зонирования территории по уровню риска для здоровья населения в условиях воздействия химически опасных веществ: № 2010136638/14 : заявл. 31.08.2010 : опубл. 10.02.2012 / Зайцева Н.Н., Май И.В., Клейн С.В., Ве-

ковшина С.А., Балашов С.Ю. – 25 с.

19. Федеральный закон N15-ФЗ от 23.02.2013 "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака".

20. Табакокурение при сердечно-сосудистых заболеваниях среди трудоспособного населения. Москвы / Ш.М. Гайнуллин [и др.] // Российский кардиологический журнал. - 2006. - №1(57). - С. 5-7.

Статья поступила в редакцию 09.06.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 004

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0017

МОНИТОРИНГ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ ОКР ОБОРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

© 2021

Крюков Алексей Анатольевич, сотрудник

АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»

(121471, Москва, ул. Верейская, д. 4, e-mail: alexeykryukov@yandex.ru)

Аннотация. В статье описывается методика мониторинга производственных рисков при разработке опытно-конструкторских работ по созданию средств вооружения в рамках госзаказа. Авторская методика прогнозирования предполагает построение массива данных, который включает базовый вариант интегральной оценки производственных рисков конкретной разработки и интегральных оценок классификационных групп, а также имитационную модель массива указанных интегральных оценок с помощью случайного числа, на которое увеличится или уменьшится базовое значение интегральных оценок. Предложенная методика мониторинга производственных рисков направлена на повышение достоверности, точности, объективности анализа, и принятия на его основе управленческих решений, более глубокого анализа производственных рисков и проведения их мониторинга, а также дальнейшего обоснования наиболее эффективных способов смягчения рисков работы.

Ключевые слова: оборонные предприятия, мониторинг производственных рисков, анализ чувствительности, имитационное моделирование, ожидаемая оценка риска, модифицированная интегральная оценка риска, вероятность наступления риска, статистическая оценка риска, средневзвешенная бальная оценка риска.

MONITORING OF PRODUCTION RISKS OF EXPERIMENTAL AND DESIGNED WORKS OF DEFENSE ENTERPRISES

© 2021

Kryukov Aleksey Anatol'yevich, employee

JSC "ASD Concern" Almaz-Antey"

(121471, Moscow, st. Vereiskaya, 41, e-mail: alexeykryukov@yandex.ru)

Abstract. The article describes a methodology for monitoring production risks in the development of experimental design work to create weapons under the state order. The author's forecasting technique involves the construction of a data array, which includes a basic version of the integral assessment of production risks of a specific development and integral estimates of classification groups, as well as a simulation model of the array of these integral estimates using a random number, by which the base value of the integral estimates will increase or decrease. The proposed methodology for monitoring industrial risks is aimed at increasing the reliability, accuracy, objectivity of the analysis, and making management decisions on its basis, a deeper analysis of industrial risks and their monitoring, as well as further substantiation of the most effective ways to mitigate the risks of work.

Keywords: defense enterprises, monitoring of production risks, sensitivity analysis, simulation modeling expected risk assessment, modified integral risk assessment, probability of risk occurrence, statistical risk assessment, weighted average risk assessment.

Введение. Процесс проведения опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию образцов ВВТ сопряжен со множеством производственных рисков, которые оказывают влияние не только непосредственно на достижение целей и задач ОКР, но и на дальнейшие стадии жизненного цикла ВВТ. Сложившееся противоречие между необходимостью минимизации производственного риска при выполнении ОКР по ГОЗ на предприятиях ОПК и отсутствие методического аппарата по его оценке обусловили актуальность выбранной темы исследования и необходимость оценки и мониторинга производственных рисков на предприятиях при выполнении ОКР в рамках ГОЗ.

Отдельные аспекты оценки и управления рисками предприятий ОПК, включая производственные риски, раскрыты в публикациях Варакиной О.Е. [9], Балобана Т.Е. [3], Антамошкина А.Н. [2], Батьковского А.М. [4], Батьковского М.А., Фоминой А.В., Лаврищевой Е.Г. [5], Колесова К.И. [6], Плехановой А.Ф., Иванова А.А., Ивановой Н.Д., Шилкиной А.Т., Аникейчика Н.Д. [1], Мухина М.Е. [7], Мовтяна Б.А. [8] и других.

Методики оценки отдельных рисков ОКР были разработаны на уровне Министерства обороны РФ, и применяются успешно структурными подразделениями, подведомственными организациями и оборонными концернами. Предприятия ОПК также разрабатывают собственные методики оценки производственных рисков. На сегодняшний день выработана достаточная база, позволяющая объективно и достоверно оценивать отдельные риски. Однако, до сих пор отсутствует комплексный подход, учитывающий внутренние факторы, такие, как ресурсный потенциал оборонных предприятий, эффективность управления, внешние факторы деловой среды, являющиеся источниками риска, а также факторы, связанные непосредственно со спецификой проведения ОКР с изначально повышенным уровнем неопределенности и риска успешного достижения целей и задач и завершения работ. Не все методики учитывают вероятностный характер процессов, характерных для ОКР, что отражает специфику производственного риска. Остались открытыми важные научные вопросы комплексной системной

оценки производственных рисков выполнения ОКР на предприятиях ОПК при создании ВВТ в рамках ГОЗ для принятия стратегических управленческих решений.

Целью статьи является разработка методики мониторинга производственных рисков ОКР на основе метода сценариев, анализа чувствительности и прогнозирования рисков для повышения эффективности, оперативности и своевременности принятия управленческих решений в сфере создания средств вооружения в рамках ГОЗ на основе интеграции информационно-аналитической базы, комплексного методического инструментария, а также системы взаимодействия задействованных участников ОКР в структуре исполнителя госконтракта. Задачи статьи заключаются в обосновании метода сценариев и анализа чувствительности для проведения мониторинга производственных рисков ОКР, а также имитационного моделирования для построения прогноза производ-

ственных рисков ОКР.

Материалы и методы исследования. Статья основывается на фундаментальных научных трудах исследователей в области управления рисками, в том числе посвященных управлению рисками ОКР.

В ходе исследования были использованы методы: сценариев, имитационного моделирования, анализа чувствительности, а также базовые методы оценки рисков.

Результаты исследования. Для развития оценки производственных рисков ОКР автором предлагается методика проведения мониторинга производственных рисков, включающая обоснование меры влияния уровня производственных рисков на результат ОКР с помощью метода сценариев, анализа чувствительности, прогнозирования производственных рисков ОКР с помощью имитационного моделирования [10].

На рисунке 1 показана структурно-логическая схема авторской методики.



Рисунок 1 – Структурно-логическая схема авторской методики мониторинга производственных рисков ОКР

Метод сценариев позволяет принимать управленческие решения о целесообразности завершения ОКР и перехода к следующему этапу жизненного цикла продукции ВВТ на основе вероятности наступления того или иного сценария и результативных индикаторов оценки производственного риска с помощью авторской методики.

Для моделирования того или иного сценария реализации и завершения ОКР автором предложено определять ожидаемую оценку производственного риска, которая вычисляется по следующей формуле:

$$\begin{cases} R_{R2-1}, R_{R2-2} = \sum_{i=1}^{n_k} x_i \cdot p_i \cdot \varphi_R, i = \overline{1, n_k}, k \in [R2-1; R2-2] \\ R_{R1-1}, R_{R1-2} = \sum_{i=1}^{n_k} \omega_i \cdot x_i \cdot p_i \cdot \varphi_R, i = \overline{1, n_k}, k \in [R1-1; R1-2] \end{cases} \quad (1)$$

где $R_{1-1}, R_{1-2}, R_{2-1}, R_{2-2}$ – ожидаемые оценки производственного риска ОКР по классификационным группам; p_i – вероятность наступления производственного риска ОКР, $p_i = 0,1, i = \overline{1, n_k}$; x_i – статистическая оценка производственного риска, $0 \leq x_i \leq 5$; ω_i – весовой коэффициент для каждого риска в классификационной группе; φ_R – весовой коэффициент для класси-

фикационной группы рисков; i – порядковый номер индикатора и соответствующего ему риска, $i = \overline{1, n_k}$; $\overline{x_i}$ – средневзвешенная бальная оценка i -го риска экспертами, $i = \overline{1, n_k}$; $j = \overline{1, J}$; J – количество экспертов, принявших участие в оценке производственных рисков; n_k – количество рисков в k -й классификационной группе, $N = \sum_{k=1}^K n_k$; K – общее количество классификационных групп; N – общее количество рисков во всех классификационных группах.

Вероятность наступления производственного риска ОКР оценивается с помощью метода экспертных оценок по следующей формуле:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^J p_{ij}}{J}, i = \overline{1, n_k}, j = \overline{1, J}, p_{ij} = \overline{0, 1}, p_i = \overline{0, 1} \quad (2)$$

где p_{ij} – оценка вероятности возникновения i -го риска j -м экспертом, $p_{ij} = \overline{0, 1}$, $i = \overline{1, n_k}$, $j = \overline{1, J}$; p_i – вероятность наступления производственного риска ОКР, $p_i = \overline{0, 1}$, $i = \overline{1, n_k}$; J – количество экспертов, принявших участие в оценке производственных рисков; n_k – количество рисков в классификационной группе ($R_{1,p}, R_{1,2}, R_{2,p}, R_{2,2}$), $N = \sum_{k=1}^K n_k$; K – общее количество классификационных групп; N – общее количество рисков во всех классификационных группах.

Характер риска соответствует уровню риска и определяется по 5-бальной шкале в соответствии с полученной интегральной оценкой производственного риска ОКР. Для иллюстрации полученных результатов автором предложено построение карты (матрицы) производственного риска ОКР, где шкала по вертикали – это вероятность наступления риска, а шкала по горизонтали – характер риска. На пересечении указанных критериев указываются производственные риски, и делается обоснованный вывод о влиянии риска на результаты ОКР в будущем с учетом вероятности его возникновения, а также о целесообразных управленческих мероприятиях [3].

В рамках разработанной методики мониторинга производственных рисков ОКР предусматривается определение риск-аппетита – максимального уровня риска, который компания готова принять в своем стремлении к достижению целевых критериев и условий выполнения ОКР, до того момента как понадобится принимать меры по снижению риска [8]. Проведение ОКР характеризуется изначально высоким риском, поскольку конструируемые образцы ВВТ являются технически сложными, технологичными, инновационными изделиями, и процесс их разработки сопряжен с повышенной неопределенностью результатов. В процессе достижения поставленных целей и задач ОКР и успешного завершения проектных работ риск неизбежен, и риск-аппетит показывает приемлемый для предприятия ОПК баланс между производственными рисками ОКР и достигнутыми результатами [4].

Понятие риск-аппетита взаимосвязано с емкостью риска и толерантностью к риску. Емкость риска – это

абсолютный уровень риска, при достижении которого наступают неприемлемые для компании последствия, которые в сфере конструирования новых образцов вооружения могут заключаться в невозможности достижения целей и задач ОКР по объективным причинам, выявленным в процессе оценки производственных рисков. Толерантность к риску характеризует приемлемый для компании уровень риска, и оцениваемый по каждому производственному риску ОКР. А риск-аппетит оценивается по всем производственным рискам ОКР из реестра рисков. Риск-аппетит всегда ниже емкости риска и учитывает толерантность к риску по всем рискам.

Автором разработано концепцию риск-аппетита, которая предполагает, что все важные решения по ОКР принимаются исходя из установленного уровня аппетита к риску, и рекомендовано принятие на корпоративном уровне заявления о риск-аппетите, которое может включаться в политику управления рисками компании и содержать:

- определение риск-аппетита;
- общее описание целей управления рисками в компании;
- границы риск-аппетита компании в целом;
- оценка риск-аппетита по конкретным рискам и классификационным группам рисков.

Автором рекомендуется рассчитывать риск-аппетит в отношении конкретных ключевых индикаторов производственного риска ОКР. Для оценки индикаторов выявляются и ранжируются конкретные риски, влияющие на результативность ОКР, и используются различные методы, такие как использование статистических данных, экспертные оценки и анализ рисков на будущие периоды, что предложено в методике оценки производственных рисков ОКР [5]. На основе разработанной авторской методики оценки производственных рисков и обоснованных сценариев ОКР автором предлагается следующий подход к формированию индикаторов риск-аппетита для ОКР:

- первый уровень содержит ожидаемую оценку производственного риска ОКР, интегральную оценку производственного риска ОКР;
- второй уровень содержит интегральные оценки классификационных групп производственного риска ОКР;
- третий уровень включает лимиты по ключевым индикаторам производственных рисков ОКР, которым был присвоен наиболее высокий ранг в разрезе каждой классификационной группы с учетом метода оценки риска.

Для более глубокого анализа производственных рисков и проведения их мониторинга, а также дальнейшего обоснования наиболее эффективных способов смягчения рисков ОКР рекомендовано использовать метод анализа чувствительности в рамках авторской методики мониторинга.

Анализ чувствительности позволяет риск-менеджерам оценить влияние изменения отдельных рисков или классификационных групп рисков ОКР на. Для

мониторинга производственных рисков ОКР интегральные и ожидаемые оценки будут использоваться в качестве конечных показателей или показателей эффективности при анализе чувствительности. Для рассматриваемого в качестве результирующего показателя по методологии анализа чувствительности было решено выбрать интегральную оценку производственных рисков ОКР.

Методика мониторинга с помощью анализа чувствительности заключается в изменении выбранных исходных показателей (в конкретном случае – оценочных индикаторов рисков или интегральные оценки классификационных групп рисков) в определенных пределах при неизменности остальных. Чем шире диапазон изменения оценочных индикаторов или интегральных оценок классификационных групп рисков, при котором интегральная оценка производственных рисков ОКР остается без изменений или снижается, тем стабильнее достижение целей и задач ОКР при выполнении конкретной ОКР.

К недостаткам метода относится то, что анализ чувствительности не всегда корректен, поскольку изменение одного оценочного индикатора риска, необходимого для расчета, может привести к изменению другого, и этот метод является однофакторным.

Анализ относительной чувствительности сравнивает относительное влияние оценочных индикаторов (когда их изменение приводит к изменению статистических оценок или средневзвешенных экспертных оценок производственных рисков на фиксированную величину) на интегральные оценки классификационных групп производственных рисков. Этот анализ позволяет определить наиболее значимые риски в реестре производственных рисков, их изменение следует в первую очередь контролировать на практике.

Методика расчета модифицированных вариантов интегральных оценок классификационных групп производственных рисков предусматривает ряд этапов. На первом этапе определяется шаг увеличения статистических оценок рисков по формуле:

$$\Delta x_i = x_i + 1 \quad (3)$$

где x_i – статистическая оценка производственного риска, $0 \leq x_i \leq 5$;

и шаг увеличения средневзвешенных экспертных оценок рисков по формуле:

$$\Delta \bar{x}_i = \bar{x}_i + 0,2 \quad (4)$$

где \bar{x}_i – средневзвешенная бальная оценка i -го риска экспертами, $i = \overline{1, n_k}$; $j = \overline{1, J}$;

i – порядковый номер индикатора и соответствующего ему риска, $i = \overline{1, n_k}$;

J – количество экспертов, принявших участие в оценке производственных рисков;

n_k – количество рисков в k -й классификационной группе, $N = \sum_{k=1}^K n_k$;

K – общее количество классификационных групп;

N – общее количество рисков во всех классификационных группах.

Модифицированные интегральные оценки клас-

сификационных групп рисков рассчитываются по формулам (3), (4), при этом для каждого производственного риска поэтапно применяется для рисков, оцениваемых статистическими методами, и для рисков, оцениваемых методами экспертных оценок. Таким образом, мы получим массив модифицированных интегральных оценок классификационных групп производственных рисков и интегральных оценок производственных рисков ОКР.

Увеличение средневзвешенной бальной экспертной оценки i -го риска на 0,2 обосновано тем, что шкала интегральных оценок производственных рисков ОКР, как и интегральных оценок классификационных групп, находится в интервале [1;5], а шкала средневзвешенных бальных экспертных оценок рисков в интервале [0;1]. Поэтому увеличение данных оценок на 0,2 приводит к увеличению уровня риска на единицу. Увеличение уровней (статистических оценок) i -го риска на 1 обосновано тем, что интегральные оценки классификационных групп рисков, оцениваемых статистическими методами, рассчитываются на основе суммы произведений статистической оценки производственных рисков ОКР и весовых коэффициентов по данным группам рисков, таким образом шкала статистических оценок рисков находится изначально в интервале [0;5], что упрощает расчеты модифицированных интегральных оценок по данным группам рисков.

Анализ чувствительности ОКР позволяет риск-менеджерам оценить, как меняются результирующие интегральные оценки производственных рисков при разных значениях оценочных индикаторов, необходимых для расчета. Этот анализ позволяет определить наиболее важные производственные риски ОКР, переменные, которые могут больше всего повлиять на осуществимость ОКР.

Прогнозирование интегральных оценок производственных рисков, а также классификационных групп производственных рисков ОКР в зависимости от изменения отдельных производственных рисков предлагается проводить с помощью имитационного моделирования. Данный метод позволяет описывать и исследовать сложные производственные системы, которыми являются ОКР, подверженные влиянию различных производственных рисков, обеспечивает многовариантный анализ альтернативных прогнозов и соответственно сценариев продолжения ОКР и минимизации рисков. Это повышает уровень информационного обеспечения принятия решений по ОКР, а также их качество и обоснованность, и позволяет выявить узкие места в организационной и управленческой структуре предприятия и системе управления производственными рисками ОКР. Внедрение на предприятиях методики прогнозирования производственных рисков ОКР на основе имитационного моделирования позволит оценивать риски ОКР в будущих периодах и своевременно реагировать на изменения [6].

Авторская методика прогнозирования предполагает построение массива данных, который включает

базовый вариант интегральной оценки производственных рисков ОКР и интегральных оценок классификационных групп, а также имитационную модель массива указанных интегральных оценок с помощью случайного числа, на которое увеличится или уменьшится базовое значение интегральных оценок.

Прогнозное значение оценочного индикатора производственного риска ОКР, оцениваемых статистическими методами, найдем по формуле:

$$\begin{cases} \overline{x}_i^* = \overline{x}_i \cdot \varphi_i, i = \overline{1, n_k}, k \in [R2 - 1; R2 - 2] \\ \overline{x}_i^* = x_i \cdot \omega_i \cdot \varphi_i, i = \overline{1, n_k}, k \in [R1 - 1; R1 - 2] \end{cases} \quad (5)$$

\overline{x}_i – статистическая оценка производственного риска, $0 \leq \overline{x}_i \leq 5$;

\overline{x}_i – средневзвешенная бальная оценка i -го риска экспертами, $i = \overline{1, n_k}$; $j = \overline{1, J}$;

\overline{x}_i^* – прогноз статистической оценки производственного риска, $0 \leq \overline{x}_i^* \leq 5$;

\overline{x}_i^* – прогноз средневзвешенной бальной оценки i -го риска экспертами, $i = \overline{1, n_k}$; $j = \overline{1, J}$;

ω_i – весовой коэффициент для каждого риска в классификационной группе;

φ_i – параметр функции, отражающий диапазон изменения оценочного индикатора в ретроспективном периоде (в нашем примере от -10% до 10%);

n_k – количество рисков в классификационной группе ($R_{1-p}, R_{1-2}, R_{2-p}, R_{2-2}$), $N = \sum_{k=1}^K n_k$;

K – общее количество классификационных групп;

k – классификационная группа;

N – общее количество рисков во всех классификационных группах.

В результате мы получим массив данных, состоящий из базового варианта интегральной оценки производственных рисков ОКР и интегральных оценок классификационных групп, а также измененных значений данных интегральных оценок с нормальным распределением вероятностей с помощью генератора случайных чисел, и рассчитали массив стандартных отклонений для полученного массива измененных значений интегральных оценок. Также следует отметить, что предлагаемая методика мониторинга производственных рисков ОКР является достаточно трудоемкой и процесс моделирования требует автоматизации.

Заключение. Предложенная методика мониторинга производственных рисков направлена на повышение достоверности, точности, объективности анализа, и принятия на его основе управленческих решений. Анализ чувствительности позволяет выявить наиболее влиятельные производственные риски на интегральную оценку производственных рисков ОКР и интегральные оценки классификационных групп рисков. Внедрение методов имитационного моделирования в систему оценки и мониторинга производственных рисков ОКР обеспечит построение обоснованных прогнозов и своевременное реагирование на риски, повысит устойчивость и реализуемость ОКР.

Авторская методика направлена на более глубокий анализ производственных рисков и проведение их мониторинга, а также дальнейшее обоснование наиболее эффективных способов смягчения рисков ОКР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тэйман, Л.Н. Риски в экономике: Уч. пособие для вузов / Под. ред. проф. В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИДАНА, 2002. – 380 с.

2. Мандрыкин, А.В. Управление производственными рисками в интегрированной организационно-производственной системе / Мандрыкин А.В. // Организатор производства. Теоретический и научно-практический журнал. - 2009. - № 3. - С. 63-68.

3. Щербакова, И.А. Управление производственными рисками / И.А. Щербакова // Научный журнал «Современные наукоемкие технологии». - 2010. - № 8. - С. 106-107.

4. Кудряшова, О.В. Развитие системы управления рисками НИОКР промышленного предприятия. Монография / К.В. Ковырзина, О.В. Кудряшова, И.Б. Гусева; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2014. – 143 с.

5. Мухин М.Е. Риски инновационных проектов на предприятиях ОПК / М.Е. Мухин, С.М. Луговнина // Аллея науки. 2017. Т. 3. № 15. - С. 421-424.

6. Уткин, Э. А. Риск-менеджмент / Э. А. Уткин. – М. : Эксмо, 1998. – 288 с.

7. Халиков, М.А. Концепция и теоретические основы управления производственной сферой предприятия в условиях неопределенности и риска / Халиков М.А., Максимов Д.А. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2015. - № 10 (часть 4). - С. 711-719.

8. Хохлов, Н.В. Управление риском / Н. В. Хохлов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 239 с.

9. Аникейчик, Н.Д. Планирование и управление НИР и ОКР. Учебное пособие. [Электронный ресурс] / Н.Д. Аникейчик, И.Ю. Кинжагулов, А.В. Федоров. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 192 с. - Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2033.pdf>

10. Батьковский, А.М., Батьковский, М.А., Фомина, А.В. Управление рисками инновационного развития базовых высокотехнологических отраслей. / А.М. Батьковский, М.А. Батьковский, А.В. Фомина / М.: Тезаурис, 2015. - 332 с.

11. Бернштейн, Л.А. Против богов. Укрощение риска / Л. А. Бернштейн ; пер. с англ. – М. : Олимп-Бизнес, 2000. - 400 с.

12. Берч, К. Риск Appetit: «Не откусывайте больше, чем можете проглотить». [Электронный ресурс] / К. Берч // Корпоративный менеджмент. 2015. - Режим доступа: https://www.cfin.ru/finanalysis/risk/Risk_Appetite.shtml

13. Буянов, В. П. Рискология (управление рисками) / В. П. Буянов, К. А. Кирсанов, Л. М. Михайлов. - М. : Экзамен, 2003. - 384 с.

14. Кудряшова, О.В. Развитие системы управления рисками НИОКР промышленного предприятия. Монография / К.В. Ковырзина, О.В. Кудряшова, И.Б. Гусева; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2014. – 143 с.

15. Лаврищева, Е.Г. Управление рисками в организациях обороннопромышленного комплекса / Е.Г. Лаврищева, Ю.В. Пепина // Вестник МГТУ СТАНКИН. – 2017. – № 1. – С. 108–112.

16. Халиков, М.А. Концепция и теоретические основы управления производственной сферой предприятия в условиях неопределенности и риска / Халиков М.А., Максимов Д.А. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2015. - № 10 (часть 4). - С. 711-719.

17. Хохлов, Н.В. Управление риском / Н. В. Хохлов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 239 с.

18. Чернова, Г.В. Управление рисками / Г. В. Чернова, А. А. Кудрявцев. – М. : Велби : Проспект, 2003. – 160 с.

19. Шулекин, И.А. Организационно-методические основы оценки рисков промышленных предприятий [Электронный ресурс]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Шулекин, Игорь Анатольевич. - М.: РГВ, 2007.

20. Рыгаловский, Д.М. Управление рисками на предприятии: методический и организационный аспекты / Рыгаловский Д.М. // Современные технологии управления. - 2016. - №12 (72). - С. 11-17.

Статья поступила в редакцию 16.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 004.93'11

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0018

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ДОВЕРИЯ

©2021

Пашенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор, ректор
Бальзанникова Елена Алексеевна, младший научный сотрудник
центра сопровождения 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 этой статье рассматривается метод динамической идентификации пользователя по динамике нажатия клавиш на основе ранее предложенного представления в виде контекстов состояний. Предложенный подход позволяет использовать широкий набор алгоритмов и подходов, применимых как к статическому анализу, так и динамическому анализу клавиатурного почерка. Рассмотрен алгоритм идентификации с использованием подхода классификатора ансамблей, состоящего из трех отдельных классификаторов. Для повышения точности идентификации было решено применять метод адаптивного усиления. Кроме того, поскольку результат работы ансамбля классификаторов отражает решение по одному контексту состояния, для объединения последовательности результатов работы классификатора и вынесения идентификационного решения была рассмотрена возможность применения модели доверия. Результаты применения данного подхода показаны на примере динамики изменения уровня доверия предоставляемого биометрического образа в процессе непрерывной идентификации как авторизованного пользователя, так и пользователя, который идентифицируется в системе как «чужой».

Ключевые слова: клавиатурный почерк, биометрия, системное программное обеспечение, поведенческая биометрия, динамическая идентификация, клавиатура, анализ данных, машинное обучение.

A METHOD FOR IDENTIFYING A USER BY KEYBOARD HANDWRITING USING A TRUST MODEL

© 2021

Pashchenko Dmitriy Vladimirovich, doctor of Technical Sciences, professor, rector
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 a method for dynamically identifying a user based on the dynamics of keystrokes based on the previously proposed representation in the form of state contexts. The proposed approach allows you to use a wide range of algorithms and methods, applicable to both static analysis and dynamic analysis of keystroke dynamics. An identification algorithm is considered using the ensemble classifier approach, which consists of three separate classifiers. To improve the identification accuracy, it was decided to use the adaptive amplification method. In addition, since the result of the work of the ensemble classifiers reflects the decision of only one state context, to combine the sequence of the results of the classifier's work and make an identification decision, the possibility of using a trust model was considered. The results of applying this approach are shown on the example of the dynamics of change in the level of confidence for a biometric image, while continuous identification of both an authorized user and a user who is identified in the system as a "stranger".

Keywords: keyboard handwriting, biometrics, system software, behavioral biometry, dynamics identification, keyboard, data analysis, machine learning.

Введение. На сегодняшний день проблемы предотвращения несанкционированного доступа к конфиденциальной и личной информации, ее незаконного распространения, а также предотвращения противоправных действий от имени другого пользователя являются актуальными задачами в области информационной безопасности. Традиционно для защиты информационных систем используются криптографические средства и средства аутентификации на основе знаний (кодовая фраза или ответ на определенный вопрос) или атрибута (смарт-карта, ключ). Кроме того, существует класс методов биометрической идентификации и аутентификации, которые используются как в

качестве автономных решений, так и в качестве усиления традиционных инструментов безопасности. Биометрические методы имеют несколько преимуществ по сравнению с другими методами, основанными на знаниях или атрибутах: источник биометрических данных всегда с пользователем, их нельзя потерять, а взлом и копирование биометрического изображения произвести часто чрезвычайно сложно.

Для этих целей могут использоваться стандартные устройства ввода персонального компьютера: клавиатура и мышь. Эти средства идентификации дают дополнительные преимущества: отсутствие дополнительного оборудования и возможность проведения

скрытой процедуры идентификации.

Существует множество методов как динамического, так и статического анализа почерка на клавиатуре. Как описано ранее, большинство методов предназначены для парольной фразы фиксированной длины. Для непрерывной идентификации в большинстве случаев используется статистический метод, для которого доверительный интервал определяется для каждого параметра времени удержания и интервала между щелчками [1-6].

Однако к основному недостатку биометрических методов можно отнести изменения исходного биометрического образа пользователя из-за возрастных изменений, психофизического состояния человека или наличия травм. Этот аспект может затруднить процедуру идентификации или сделать ее полностью невозможной. Кроме того, биометрический анализ часто требует дополнительного и зачастую дорогостоящего оборудования.

Целью данной работы является изучение метода непрерывной идентификации пользователя клавиатурным почерком на основе представления в виде контекстов состояний.

Материалы и результаты исследования. *Метод динамической идентификации пользователей на основе контекстов состояний.* В статье [7] предложен метод представления на основе контекста состояния, который позволяет использовать множество методов, применимых к парольной фразе, путем интерпретации каждого контекста состояния как парольной фразы фиксированной длины. В этом случае необходимо построить классификатор для каждого контекста, но такой подход позволяет использовать наиболее точные методы статической идентификации для динамического анализа почерка клавиатуры пользователя. Однако сегодня в области машинного обучения существуют технологии повышения точности классификации путем объединения набора «слабых» классификаторов в ансамбль.

Основная цель методов ансамблевого классификатора – объединить разные классификаторы в один метаклассификатор, который имеет лучшую обобщаемость, чем каждый классификатор. Есть много способов объединить классификаторы в ансамбль [8].

Самым простым вариантом объединения классификаторов является простое голосование большинством голосов или среднее значение результатов классификации. Для повышения точности данного подхода, возможно взвешенное голосование или взвешенное среднее, где весовой коэффициент классификатора подбирается в зависимости от точности каждого отдельного классификатора.

В качестве развития модели ансамблей классификаторов на основе большинства голосов является технология бэггинга. Данная технология заключается в том, что вместо того, чтобы использовать один и тот же набор данных для обучения отдельных классификаторов в ансамбле, мы выберем исходные образцы (случайные образцы с возвратом) из первоначально-

го набора данных, вот почему бэггинг еще называют агрегацией начальной загрузки. Алгоритм бэггинга впервые предложил Лео Брейман (Leo Breiman) в статье 1994 г. Он также показал, что данный подход может повысить точность нестабильных моделей и снизить степень переобучения [9].

Другим методом улучшения предсказаний является бустинг (*boosting*), идея которого заключается в итеративном процессе последовательного построения частных моделей. В алгоритме усиления ансамбль состоит из очень простых классификаторов, часто называемых слабыми моделями, которые имеют лишь незначительное преимущество по сравнению со случайным угадыванием. Основная идея бустинга заключается в обучении трудноклассифицируемых объектов, позволяя тем самым слабым моделям обучаться на неверно классифицированных обучающих данных с тем, чтобы повысить производительность ансамбля. Отличие от алгоритма бэггинга состоит в изначальной формулировке; определения бустинга таково: алгоритм, использующий случайные подмножества обучающих данных, извлекающийся из обучающей выборки без возврата. Исходный алгоритм бустинга можно представить следующим образом в виде четырех шагов:

1. Извлечь случайное подмножество обучающих данных $d1$ без возврата из обучающей выборки D для обучения слабого классификатора $C1$.

2. Извлечь случайное подмножество обучающих данных $d2$ без возврата из обучающей выборки b добавить 50 процентов образцов, которые ранее были неверно классифицированы и обучить слабую модель $C2$.

3. Найти обучающие образцы $d3$ в обучающей выборке, для которых результаты $C1$ и $C2$ расходятся, чтобы обучить слабую модель $C3$.

4. Объединить модель $C1$, $C2$ и $C3$ через метод большинства голосов.

Развитием идеи метода «усиления» ансамбля классификаторов является метод «Адаптивного усиления» – *AdaBoost*. В отличие от рассмотренного исходного алгоритма бустинга, *AdaBoost* использует весь набор данных для обучения слабых моделей, где обучающие образцы используются повторно для построения сильного классификатора, который учится на ошибках предыдущих слабых классификаторах в ансамбле.

Одним из недостатков алгоритма адаптивного усиления является необходимость достаточно длинных обучающих выборок. Другие методы линейной коррекции, в частности, бэггинг, способны строить алгоритмы сопоставимого качества по меньшим выборкам данных.

В рамках проводимого исследования применяется алгоритм бустинга, поскольку позволяет строить ансамбль простой ансамбль из небольшого набора различных классификаторов для анализа клавиатурного почерка пользователя согласно рассмотренным ранее методам. Для реализации алгоритма идентификации пользователей согласно биометрическому был ис-

пользован ансамбль из трех классификаторов: идентификатор на основе вероятностного алгоритма, метода опорных векторов и случайного леса [10-13].

Модель доверия. Решение, которое выносит ансамбль классификаторов, относится к каждому анализируемому контексту состояния. Поскольку каждый контекст отражает четыре последовательных событий клавиатуры и интервалы между ними, вынесение аутентификационного решения по одному контексту будут приводить к большому количеству ошибок, как первого, так и второго рода. Следовательно, для проведения корректной идентификации пользователя необходим анализ значений классификатора на основании последовательности контекстов состояний.

Для решения данной задачи могут быть применены несколько подходов. Самым простым вариантом является установка порогового значения для доли отрицательных решений классификатора для окна контекстов определенного размера. В рамках данного подхода определяется размер окна, который означает количество анализируемых контекстов. Результатом анализа данного контекста будет либо «совпадает», что означает, что данный контекст соответствует эталонному образу, либо «не совпадает» в обратном случае. Если в рамках анализируемого окна доля контекстов, результат классификатора отрицательный выше заранее определенного предельного значения. Окно может быть как фиксированного размера, так и плавающего. Размер и пороговое значение подбираются в процессе обучения модели так, чтобы обеспечивать наименьший уровень ошибок первого и второго рода [14].

Еще одним вариантом вынесения идентификационного решения путем анализа значения классификатора является модель доверия. Концепция модели доверия была впервые предложена Борусом [15]. Она заключается в том, что на оценку подлинности текущего пользователя влияет каждое действие, производимое пользователем. Если параметры действия пользователя соответствуют параметрам действий сохраненного образа, уровень подлинности или уровень доверия пользователю повышается. Величина повышения уровня доверия называется награда. Если наблюдается значительное отклонение от эталонных параметров, уровень доверия пропорционально понижается. Данный показатель называется штраф. Величина изменения уровня доверия может быть фиксирована или зависеть от величины отклонения от эталонного образа.

Очевидно, что временные характеристики пользователя не всегда полностью соответствуют своему эталонному образцу, и даже в процессе штатной работы могут наблюдаться некоторые отклонения ввиду различных причин, что в свою очередь будет приводить к снижению уровня доверия. Однако большинство параметров будут совпадать с сохраненным образом пользователя, что в совокупности будет поддерживать высокий уровень доверия. В случае подмены оператора, параметры которого, очевидно отличаются, приве-

дет к быстрому снижению уровня доверия. Как только уровень снизится до порогового значения, пользователь будет идентифицирован как чужой. В идеальном случае в подобной системе уровень доверия авторизованного пользователя не опускается ниже предельного значения, и для нелегального пользователя уровень быстро понижается, позволяя оперативно его обнаружить [16].

Согласно предложенной модели доверия с вариативным изменением уровня доверия величина изменения Δ_{Trust} будет вычисляться по следующей формуле:

$$\Delta_{Trust}(sc_i) = \min \left\{ -D + D \times \left(\frac{1 + \frac{1}{C}}{\frac{1}{C} + \exp\left(-\frac{sc_i - A}{B}\right)} \right), C \right\}$$

где sc_i – результат оценки текущего параметра, A – граничное значение между наградой и штрафом, B – ширина сигмоиды данной функции, C и D – максимальные значения награды и штрафа соответственно. Параметры A , B и C подбираются эмпирически.

В рамках данного исследования анализируемые действия будут параметрами контекстов состояний, а величина изменения уровня доверия будет зависеть от результата классификационного решения ансамбля классификаторов, описанного ранее.

На рисунке 1 показан пример динамики изменения уровня доверия для авторизованного пользователя. Как видно на рисунке, уровень доверия колеблется в районе 100%.

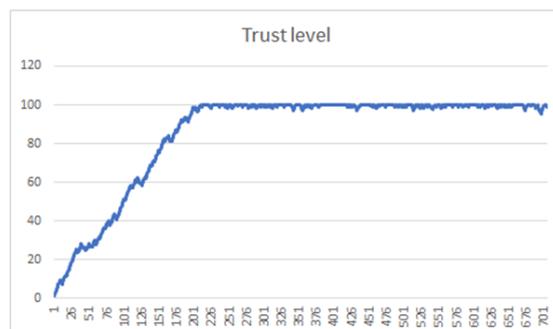


Рисунок 1 – Изменение уровня доверия для случая, когда текущий пользователь соответствует авторизованному

На рисунке 2 показан пример изменения уровня доверия для «чужого» пользователя. На данном примере видно, что, если предоставляемый образ не соответствует зарегистрированному уровню доверия не поднимается выше 40% и в зависимости от порога доступа система идентифицирует подмену оператора.



Рисунок 2 – Изменение уровня доверия для случая, когда текущий пользователь не соответствует авторизованному

Заклучение. Таким образом, в данной статье рассматривается метод динамической идентификации клавиатурного почерка на основе предложенного представления на основе контекстов состояний. Преимущество данной презентации – широкий спектр применимых методов анализа. В рамках данной работы использовался метод адаптивного усиления, основанный на ансамбле из трех классификаторов: статического метода, нейронной сети и машины опорных векторов. Чтобы принять решение об идентификации и агрегировать результаты классификации для каждого контекста состояния, используется оценка доверия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90127

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. И. Г. Сидоркина, А. Н. Савинов 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-raspoznaniya-klaviaturnogo-pocherka-operatora> (дата обращения: 03.09.2020).
2. Р.Р. Шарипов, А.С. Катасёв, А.П. Кирпичников 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. А. И. Аверин, Д. П. Сидоров 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. «Imitation model for keystroke dynamics base on state contexts representation» Dmitry V. Pashchenko et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 994 012001. (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/994/1/012001>).
8. Д. В. Пащенко, 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.
9. Ю.А. Брюхомицкий “Статистические методы распознавания клавиатурного почерка,” Известия Южного федерального университета. Технические науки, Тематический выпуск, С 139 – 147, 2010.
10. Ю.А. Брюхомицкий “Гистограммный метод распознавания клавиатурного почерка,” Известия Южного федерального университета. Технические науки, т.112, №11, 8 с, 2010.
11. 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.
12. Д.С Крутохвостов, В.Е. Хищенко, “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.
13. 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.
14. P. Bours, S. Mondal “Continuous Authentication with Keystroke Dynamics,” 2015, DOI:10.13140/2.1.2642.5125.
15. P. Bours, H. Barghouthi “Continuous authentication using keystroke dynamics,” Proceedings of the Norsk Informasjonssikkerhetskonferanse (NISK'09). 1-11, 2009.
16. 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.

Статья поступила в редакцию 16.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 338.364

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0019

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА

© 2021

Байбаров Дмитрий Анатольевич, инженер кафедры «Автоматизация и управление»

Тюменский государственный нефтегазовый университет

(625000, Российская Федерация, Москва, улица Володарского, 38, e-mail: dmitrijbajbarov@gmail.com)

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность применения технологий искусственного интеллекта для автоматизации процессов разведки и добычи нефти и газа. Актуальными проблемами в этой области являются трудности нахождения и разработки новых месторождений, быстрой обработки данных геологоразведки, построение моделей будущих скважин, выработки существующих коллекторов, стратегического планирования и создания базы данных отрасли для дальнейшего использования наработанных навыков для будущих разработок. Решением таковых возможно с применением прогрессивных технологий искусственного интеллекта. Целью данной работы является выбор эффективных технологий искусственного интеллекта по поиску, разведке и разработке месторождений нефти и газа, а также по построению проектов бурения скважин. Проведена оценка эффективности методов разработки месторождений, оптимизации процесса бурения и прогнозирования добычи нефти с использованием интеллектуальных методов интерполяции и оптимизации без градиента, вейвлет-преобразования, глубокой нейронной сети, случайного леса, нейронной сети обратного распространения. Показано, что применение интеллектуальных подходов позволит сократить операционные издержки и инвестиционные затраты на исследование новых месторождений на 11 – 14%, увеличить объем добываемого сырья на 28% в год, спрогнозировать скорости добычи сырья на ближайшие два года на основе исторических данных по месторождению. Результаты оценки инвестиционного индекса внедрения данных технологий показал экономический эффект около 30% на последующие пять лет.

Ключевые слова: искусственный интеллект, бурение скважин, нефть, газ, оптимизация, автоматизация, прогнозирование, нейронная сеть, метод случайного леса.

ASSESSING THE PRODUCTIVITY AND ECONOMIC VIABILITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR AUTOMATING OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION

© 2021

Baybarov Dmitriy Anatolyevich, engineer in the specialty of «Automation of Technological Processes and Production Operations (Oil and Gas Sector)», department of Automation and control

Tyumen State Oil and Gas University

(625000, Russian Federation, Moscow, st. Volodarskogo, 38, e-mail: dmitrijbajbarov@gmail.com)

Abstract. This study addresses the possibility of using artificial intelligence (AI) to automate oil and gas exploration and production processes. The current problems in this area are the difficulties of finding and developing new fields, processing exploration data, building a model of future wells, developing existing reservoirs, carrying out strategic planning, and creating an industry database to use the available skills and advances for future improvements. These can be solved using cutting-edge AI technologies. The purpose of this work was to select effective and innovative AI technologies for the search, exploration, and development of oil and gas fields and the preparation of well-drilling projects. The effectiveness of field development methods, optimization of the drilling process and forecasting oil production using intelligent interpolation and optimization methods without a gradient, wavelet transform, deep neural network, random forest, backpropagation neural network was evaluated. It was shown that the application of AI-based approaches would allow reducing operational costs and investment expenditures for exploration of new fields by 11–14% and increase oil production by about 28 %, increase in the volume of extracted oil by 28% per year, predict the rates of oil production for the next two years based on historical data on the field. The results of evaluating the investment index of the introduction of these technologies showed an economic effect of about 30% for the next five years.

Keywords: artificial intelligence, well drilling, oil, gas, optimization, automation, forecasting, neural network, random forest method.

Введение. Традиционные методы поиска и разработка месторождений нефти и газа представляют собой достаточно затратные и трудоемкие процессы, которые характеризуются сложностями по разработке трудно извлекаемых запасов, определению новых плодородных регионов, выводом на положительную рентабельность сложных проектов и пр. [1]. Самым трудоемким и ответственным этапом производствен-

ной цепочки добычи нефти является процесс разведки новых скважин, который требует использования дорогостоящих технологий, затрат времени и ресурсов, не гарантируя точного результата, а подчас ставя под сомнение рентабельность дальнейшей добычи нефти или газа [2]. Именно по этим причинам наиболее актуальным способом является сбор и анализ сейсмических данных и геодезических карт с целью оптимиза-

ции размещения буровых установок на основе полной картины геологического строения местности [3 – 4]. Кроме того, огромной проблемой является сложность обработки данных с использованием традиционных методов моделирования физики течений в разрабатываемом коллектора путем решения уравнений в частных производных, которые ограничивают возможности оптимизации для правильного планирования разработки месторождения [5 – 6]. Нефтегазовым компаниям приходится сталкиваться с огромными неопределенностями, которые обрабатываются вручную, и полагаются в основном на решение экспертов, а не на фактические данные. Кроме того, эти неопределенности необходимо учитывать при принятии решений об инвестировании мероприятий по разработке месторождения на ближайшие 10 – 20 лет [7]. Решением данной проблемы является применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) [8 – 10], которые способны оптимизировать и автоматизировать процессы по обработке больших данных, поиску оптимальных решений на основе машинного обучения. Внедрение технологий ИИ в нефтегазовую отрасль способствует существенному снижению вероятных рисков на производстве, повышению производительности предприятия, а также, минимизации эксплуатационных расходов [11 – 12].

На сегодняшний день в нефтегазовой отрасли наблюдается интенсивный рост во внедрении технологий ИИ для обработки результатов сейсмических исследований, планирования разработки месторождений на морском дне, контроля процесса бурения и сбора технологических данных; оценки перспектив разработки месторождений нефти и газа, построения баз данных нефтегазового производства [13 – 16]. Однако, эти технологии требуют систематизации и создания методологии выбора по критериям эффективности при поиске, разведке и разработке месторождений нефти и газа, а также по построению проектов бурения скважин на основании их объективного анализа, оценки действенности и возможности внедрения.

Целью этой работы является проведение оценки продуктивности и экономической эффективности инновационных технологий ИИ по поиску, разведке и разработке месторождений нефти и газа, а также по построению проектов бурения скважин и прогнозированию объемов добываемого сырья на ближайшие пять лет. Для оценки рентабельности внедрения технологий ИИ проведен анализ продуктивности и экономического эффекта модернизации предприятий в сравнении с традиционными технологиями.

Материалы и методы исследования. *Разведка месторождения* всегда связана с риском и сложностями обработки сейсмических данных для точного определения мест бурения на геодезических картах. Для обработки и интерпретации больших объемов сейсмических и скважинных данных используются комбинации различных методов ИИ, таких как метод *интерполяции, оптимизации без градиента, вейвлет-преобразования и глубокой нейронной сети* [17].

С помощью многочисленных сенсоров, радаров, сейсмических томографов происходит сбор информации обо всех необходимых параметрах географического расположения будущей разработки, о составе местности. Измеренные сейсмические данные, представляющие сигналы на фоне шума, обрабатываются с помощью алгоритмов интерполяции и оптимизации без градиента для получения подробных и точных карт амплитуд, пористости и насыщенности породы. С помощью метода вейвлет-преобразования можно изучить формы волны сейсмических данных в частотной и временной областях [18]. Использование глубоких нейронных сетей (ГНС) дает высокую точность показателей разведочных данных скважин на основе анализа исторических данных о добыче на месторождении [19]. ГНС применяется для нахождения новых запасов нефти путем моделирования различных ситуаций, прогнозирования сложностей в поиске новых месторождений на основе полученных данных. Также эта система эффективна при сборе информации о новом месторождении и продуктивной ее обработке.

В процессе пробных бурений важными данными, которые собираются для анализа ГНС и принятия верного решения относительно разработки будущего месторождения, являются такие параметры, как коэффициент пористости пласта, коэффициент насыщения нефтью коллектора, коэффициент продуктивности выработки, показатель вытеснения нефти при выработке. Нейронные сети позволяют быстро, надежно и качественно связать обрывки информации друг с другом и создать более полную картину месторождения. На основании таких данных компаниям будет проще и продуктивнее открывать для себя новые возможности по добыче или более эффективно использовать существующие инфраструктуры [17-19].

Кроме того, важным этапом при добыче нефти является *оптимизация процесса бурения*, которая достигается за счет регулирования скорости бурения скважины, крутильных колебаний при бурении и удельной механической энергии (УМЭ). УМЭ отражает расход энергии на раздробление горной породы при бурении. Оптимизация данных параметров с помощью методов ИИ может помочь в устранении непредвиденных неисправностей долота. На основе *алгоритма случайных лесов* были разработаны модели, учитывающие одновременно скорость бурения, крутящий момент на долоте и УМЭ, которые показали высокую точность прогнозирования в сопоставлении с реальными данными [20]. Метод, который в качестве исходных данных помимо перечисленных параметров использует данные о весе на долоте, вибрации в скважине и глубине скважины, дает возможность уменьшить влияние задержки при определении неисправности. В процессе бурения данные, поступающие от датчиков, установленных в различных местах бура и долота, обрабатываются в режиме реального времени, и результаты передаются в аналитический блок управления с использованием нейронных сетей. Благодаря возможности быстрых расчетов и анализа множества данных,

поступающих в процессе бурения и разработки скважин, применение такой технологии позволит быстро принимать целесообразные решения, снизить затраты на бурение, повысить скорость проникновения, улучшить состояние используемого оборудования, существенно сократить риски в отрасли. Кроме того, полученная информация сможет составить базу для прогнозирования продуктивности пласта и оценки экономической эффективности разработки конкретного месторождения [21].

Для прогнозирования производительности месторождения на основе исторических данных в качестве инструмента ИИИ используют нейронную сеть обратного распространения (НСОР) [22]. При этом входными параметрами служат полученные за сутки данные по скорости добычи газа, давлению в насосно-компрессорных трубах и забойному давлению потока нефти, которые с помощью алгоритма обучения с подкреплением участвуют в обучении нейронной сети для прогнозирования скорости добычи нефти с минимальным отклонением от экспериментальных данных, при этом дебит сырой нефти является выходом. На основе этих данных обученная нейронная сеть способна составить прогноз на требуемое время для оценки производительности месторождения и возможные затраты на его дальнейшую разработку. Модель НСОП способна определять режимы и скорости течения нефти в стволах скважин и отслеживать работу насосов. Это позволяет обнаружить потери циркуляции нефти в буровых скважинах, и благодаря этому устранить непродуктивность труда [21-23].

Для оценки экономической эффективности предлагаемых технологий ИИИ в этой работе использовалась методика *потребительского индекса* (ПИ), которая предполагает оценку результатов внедрения ИИИ в виде совокупности индексов, отражающих положительные изменения в работе предприятия (увеличение производительности, снижение затрат и пр.). Метод ПИ позволяет оценить действительную экономическую стоимость вложения в технологии за счет определения доходности инвестиций (ДИ) до и после внедрения:

$$ДИ = \frac{\sum_i P_i - \sum_j C_j}{\sum C} \times 100 \%, \quad (1)$$

где P_i и C_j – показатель доходности после и до внедрения ИИИ, соответственно. Например, затраты средств на разработку скважин, прирост добычи нефти, инвестиционные затраты на исследования новых месторождений, затраты времени на разработку скважин. C – показатель совокупной стоимости затрат на внедрение технологии.

Показатели возврата инвестиций и эффективности затрат определялись на основе расчета совокупной стоимости (СС), в которой учитываются первоначальные затраты и последующие затраты в течении 5 лет на эксплуатацию, доработку и пр. Показатель экономической эффективности (ПЭЭ) внедрения ИИИ технологий рассчитывался по формуле:

$$ПЭЭ = \frac{(\text{Прирост доходов} - СС)}{СС} \times 100 \%, \quad (2)$$

Результаты исследования. Метод разведки месторождения. На рисунке 1 представлены результаты оценки показателей эффективности (ДИ) применения технологий ИИИ для автоматизации процессов разведки и добычи нефти и газа.

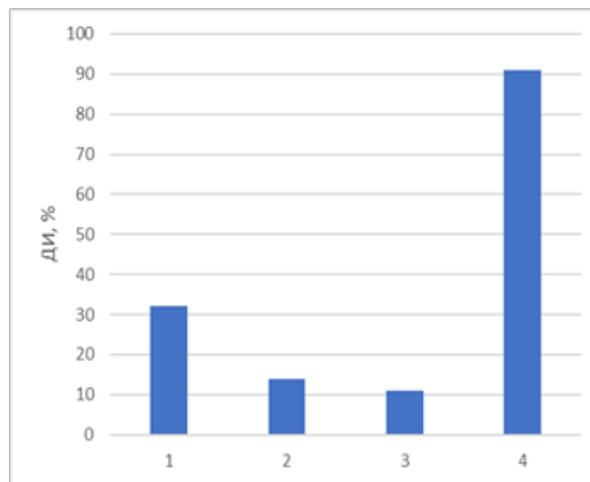


Рисунок 1 – Доходность инвестиций (ДИ) применения комплекса технологий ИИИ для автоматизации процессов разведки и добычи нефти и газа: 1 - затраты средств на разработку скважин; 2 - прирост добычи нефти; 3 - инвестиционные затраты на исследования новых месторождений; 4 - затраты времени на разработку скважин.

Из данных на рисунке 1 следует, что применение комплекса различных методов ИИИ (метод интерполяции, оптимизации без градиента, вейвлет-преобразования и глубокой нейронной сети) для поиска месторождений нефти позволяет сократить операционные издержки и инвестиционные затраты на исследования и открытия новых месторождений на 13 – 14%, сократить время поиска и разработки новых месторождений на 91%, и значительно снизить затраты на оценку и разработку скважин примерно на 32%. Кроме того, согласно результатам расчета внедрение данной комплексной технологии в нефтегазовую область поможет сэкономить средства на разработку месторождения приблизительно на 2 – 4 млн. рублей на одну скважину и сократит время на разработку скважин с 2 лет до 2 месяцев. Таким образом, применение ИИИ позволяют на стадии принятия технологических решений стадии запуска проекта принять верное прибыльное решение. Спрогнозированная модель будущей разработки месторождения позволит достоверно оценить потенциальные риски и обойти проблемные места.

Метод оптимизации процесса бурения в реальном времени. На рисунке 2 представлены результаты измерения датчиками и расчетные данные прогноза, полученные методом случайного леса, основных параметров бурения скважины в режиме реального времени. Как видно из графиков зависимостей, с увеличением глубины бурения скважины наблюдается сильная дисперсия показателей скорости бурения, крутящего момента и УМЭ, которую можно объяснить влиянием вибраций, различных свойств горных пород в пласте и т.д.

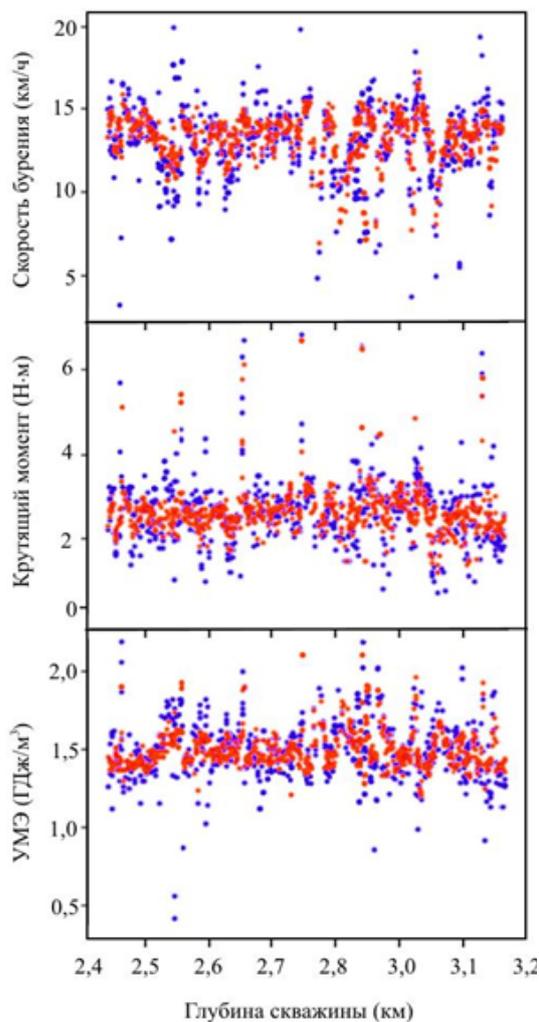


Рисунок 2 – Измеренные датчиками (синие точки) и рассчитанные с помощью алгоритма случайного леса (красные точки) данные скорости бурения, крутящего момента на долоте и удельной механической энергии (УМЭ) в зависимости от глубины бурения, соответственно.

Результаты применения метода ИИ демонстрируют, что прогнозируемые и реальные данные хорошо согласуются между собой. Среднее значение отклонений, прогнозируемых от реальных показателей, составляет приблизительно 5-20%, что является в пределах нормы для данных величин [22].

Использование метода ИИ при бурении скважин

в автоматическом режиме отражается и на показателях производительности добычи нефти. На рисунке 3 показана диаграмма технологических показателей разработки скважины по годам, из которой следует, что использование технологии ИИ способствует постепенному увеличению добычи нефти с течением времени.

Из графика видно, что при использовании оптимизации процесса бурения в реальном времени с помощью ИИ технологии количество добываемой нефти в год существенно возрастает до 28%. Это влечет за собой увеличение прибыльности предприятий наряду с сокращением расходов средств.

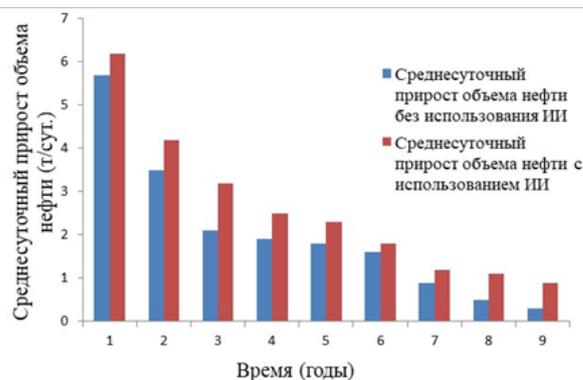


Рисунок 3 – Оценка среднесуточного прироста объема нефти по годам

Прогнозирование объемов добываемого сырья. На рисунке 4 представлены результаты обучения и составленного прогноза для скорости добычи нефти в месторождении с помощью использования НСОР. Как видно из графика, обучение с подкреплением НСОР демонстрирует практически точное совпадение расчётных и реальных данных, что позволяет составить более точный прогноз добычи нефти на последующие годы на данном месторождении. Согласно данным расчета показано, что метод НСОР на основе исторических данных позволяет спрогнозировать скорость добычи нефти или газа с высокой точностью, что позволяет оценить производительность скважины на период до двух и более лет и значительно сократить операционные и инвестиционные затраты на дополнительные исследования.

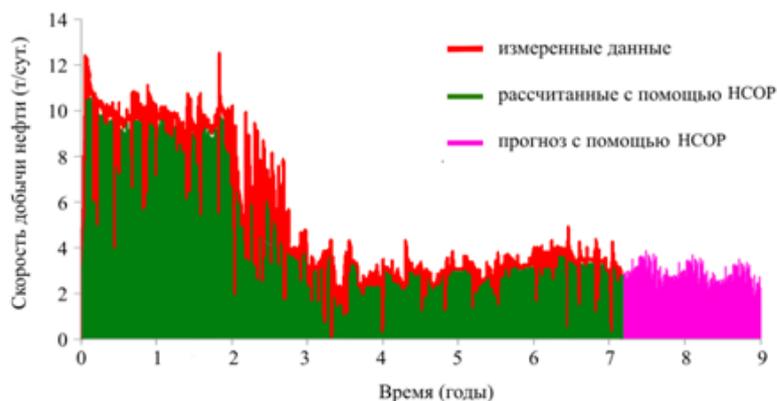


Рисунок 4 – Временная зависимость скорости добычи нефти и составленный прогноз с помощью НСОР

На основе полученных результатов была проведена оценка экономической эффективности использования ИИ технологий на последующие пять лет, которая представлена в таблице 1. Как видно из приведенных в таблице данных, использование технологий ИИ позволяет за пять лет повысить экономическую эффективность почти на 30%.

Таблица 1 – Оценка эффективности внедрения ИИ технологий за пять лет

Метод	Используемые ИИ технологии	Экономический эффект
Метод разведки месторождения	Интерполяция + оптимизация без градиента + вейвлет-преобразование + глубокая нейронная сеть	21 %
Метод оптимизации процесса бурения в реальном времени	Случайный лес	28 %
Прогнозирование объемов добываемого сырья	Нейронная сеть обратного распространения	19 %

Таким образом, внедрение ИИ технологий гарантирует прогресс, процветание и развитие отрасли по разведке и добычи нефти и газа с постоянным приростом доходов [23 - 24]. В качестве примера можно назвать компанию *Belmont Technology*, которая разработала и внедрила платформу «*Sandy*», дающую возможность интерпретировать геологическую, геофизическую, историческую и резервуарную информацию по проекту. При этом ИИ интегрирует информацию, выявляя новые связи и процессы, и использует ее для создания актуальной карты ископаемых активов [25].

Искусственный интеллект уже задействован в ряде секторов нефтегазовой промышленности в рамках глобальных нововведений для цифрового преобразования операций по разведке и добыче полезных ископаемых [9,15,25]. Кроме того, разработанные приложения технологий позволяют компаниям быстро анализировать сложные данные при разведке и добыче нефти и газа, открывать перспективы разведки или более эффективно использовать существующие ресурсы [26-29].

Заключение. В статье рассмотрены подходы к решению проблем нахождения и разработки новых месторождений нефти и газа с применением методов искусственного интеллекта для обработки данных геологоразведки, построения модели будущих скважин, процесса бурения, стратегического планирования и составления реально действующих баз данных нефтегазовой отрасли. Показаны эффективные примеры применения технологий искусственного интеллекта для автоматизации процессов разведки и добычи нефти и газа. Практическая ценность применения технологии искусственного интеллекта в нефтегазовой промышленности для автоматизации процессов разведки и добычи нефти и газа заключается в снижении затрат на оценку и разработку скважин примерно на 32%, на исследования новых месторождений – на 11%, в приросте добычи нефти на 14%. Экономический эффект от ее внедрения ИИ составит 21%, а использование

метода оптимизации процесса бурения в реальном времени на основе алгоритма случайного леса оптимизировать механические параметры при бурении, что увеличивает экономическую эффективность этого процесса на 28%. Прогнозирование объемов добываемого сырья с помощью нейронных сетей увеличивает экономическую выгодность на 19% за счет сокращения операционных и инвестиционных затрат на исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пономарев О.П. Геоэкологические особенности эксплуатации подземных хранилищ природного газа // Вестник РГУ им. И. Канга. – 2006. – № 1. – С. 69 – 77.
2. Еремин Н.А., Еремин А.Н., Еремин А.Н. Управление разработкой интеллектуальных месторождений: Учеб. пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. – 165 с.
3. Подольский, А.К. Применение методов искусственного интеллекта в нефтегазовой промышленности. Прикладные исследования / А.К. Подольский // Современная наука. – 2016. – № 3. – С. 33 – 36.
4. Тер-Саркисов Р.М., Захаров А.А., Николаев В.А. Управление процессом разработки газоконденсатного пласта // Газовая промышленность. – 2001. – № 3. – С. 39-40.
5. Мандрик И.Э., Шахвердиев А.Х., Сулейманов И.В. Оценка и прогноз нефтеотдачи на основе моделирования нейронными сетями // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 10. – С. 31-34.
6. Пчельников И.В., Борхович С.Ю., Натаров А.Л. Перспективы прогнозирования эффективности ГТМ на основе нейросетевого моделирования // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 4. – С. 37-40.
7. Васенков Д.В. Методы обучения искусственных нейронных сетей // Компьютерные инструменты в образовании. – 2007. – № 1. – С. 20-29.
8. Tekic Z., Koroteev D. From disruptively digital to proudly analog: a holistic typology of digital transformation strategies // Business Horizons. – 2019. – № 62 (6). – P. 683-693.
9. Shafiee M., Animah I., Alkali B., Baglee D. Decision support methods and applications in the upstream oil and gas sector // J. Pet. Sci. Eng. – 2019. – № 173. – P. 1173-1186.
10. Келлер Ю.А. Разработка искусственных нейронных сетей для предсказания технологической эффективности от выравнивания профиля приемистости // Известия Томского политехнического университета. Информационные технологии. – 2014. – № 325 (5). – С. 60-65.
11. Гаричев С.Н., Еремин Н.А. Технология управления в реальном времени: Учеб. пособие. В 2 ч. – М.: МФТИ, 2015. – Ч. 1. – 196 с.
12. Чикуров А.В., Матвеев Д.С., Харисов Р.М., Хусниязов М.Х. Применение методов искусственного интеллекта для выявления отказов элементов, автоматизированных технологических комплексов колонных аппаратов // Проблемы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции/редкол.: Веревкин А.П., Ишинбаев Н.А. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2013. – 137 с.
13. Вяхирев В.И. Разработка и эксплуатация газовых месторождений. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. – 880 с.
14. Кузяков О.Н., Сидорова А.Э., Глухих И.Н. Разработка принципов построения киберфизической системы мониторинга внутрипромышленного нефтепровода как составляющей умного месторождения // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы VIII Международной научно-технической конференции; отв. ред. О. Н. Кузяков. – Тюмень: ТИУ, 2019. – 324 с.
15. Barker J.W., Thibeau S. A critical review of the use of pseudorelative permeabilities for upscaling // SPE Reserv.Eng. – 1997. – № 12 (2). – P. 138-143.
16. Андреев Е.Б., Попадько В.Е. Технические средства систем управления технологическими процессами нефтяной и газовой промышленности. – М.: Изд-во РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 269 с.
17. Hegde C., Gray K.E. Use of machine learning and data

analytics to increase drilling efficiency for nearby wells // J. Nat. Gas. Sci. Eng. – 2017. – № 40. – P. 327-335.

18. Zhang J., Yin X., Zhang G., Gu Y., Fan X. Prediction method of physical parameters based on linearized rock physics inversion // Petr. Explor. Dev. – 2020. – № 47 (1). – С. 59-67.

19. Prieto-Guerrero A., Espinosa-Paredes G. Linear signal processing methods and decay ratio estimation // Linear and non-linear stability analysis in boiling water reactors. – Swaston, UK: Woodhead Publishing, 2019. – P. 269-314.

20. Losoya E., Vishnumolakala N., Noynaert S.F., Medina-Cetina Z., Bukkapatnam S., Gildin E. Automatic identification of rock formation type while drilling using machine learning based data-driven models // IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference. – OnePetro, 2021, June.

21. Guo J., Huang W., Mao Q., Wang X., Wang X., Song T. Modified GMDH networks for oilfield production prediction // Geosystem Eng. – 2018. – № 21 (4). – P. 217-225.

22. Александровская Л.Н., Круглов В.И., Кузнецов А.Г. Теоретические основы испытаний и экспериментальная обработка сложных технических систем. – М.: Изд-во Логос, 2003. – 733 с.

23. Пчельников И.В., Борхович С.Ю., Натаров А.Л. Перспективы прогнозирования эффективности ГТМ на основе нейросетевого моделирования // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 4. – С. 37-40.

24. Зойдов К.Х., Пономарева С.В., Серебрянский Д.М. Стратегическое планирование и перспективы применения искусственных нейронных сетей в нефтегазовой отечественной промышленности // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2018.

25. Свалов А.М. Анализ факторов, обуславливающих процессы разрушения призабойной зоны скважины // Газовая промышленность. – 2004. – № 7. – С. 61-63.

26. Кузин Е.С. Информационно-сложные задачи и технология их решения // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 1. – С. 24-29.

27. Еремин А.Н., Еремин Н.А. Современное состояние и перспективы развития интеллектуальных скважин // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 50-53.

28. Portier S., André L., Vuataz F.D. Review on chemical stimulation techniques in oil industry and applications to geothermal systems // Engine, work package. – 2007. – 72 p.

29. Balaji K., Rabiei M., Suicmez V., Canbaz, C.H., Agharzeyva Z., Tek S., Bulut U., Temizel C. Status of data-driven methods and their applications in oil and gas industry introduction to data driven methods // SPE Europec featured at 80th EAGE Conference and Exhibition, 2018.

Статья поступила в редакцию 17.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 629.19

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0020

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР КОРПУСОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ НАГРУЗОК

©2021

Вольников Михаил Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление»
Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11, e-mail: vmi1972@yandex.ru)

Аннотация. Возрастающие нагрузки на космическую технику, связанные с увеличением сроков эксплуатации и увеличением выводимой на орбиту полезной нагрузки, обуславливают повышение требований к надежности летательных аппаратов, большинство элементов корпусов которых представляют многослойные гетероструктуры. Эти гетероструктуры подвергаются хаотичным воздействиям, способным привести к возникновению дефектов в корпусах аппаратов, особенно на участках с повышенными напряжениями в материале, на которых могут возникать разрушения материала с образованием трещин. Разработка методов повышения надежности аэрокосмических аппаратов непосредственно связана с исследованием поведения гетероструктур при различных типах нагрузок. Решению этой задачи способствует моделирование процессов, протекающих в напряженных конструкциях, позволяющее выявить причины возникновения дефектов и выявить средства устранения или нейтрализации дефектов без проведения затратных натурных испытаний. В работе рассматриваются методы математического описания напряжений в многослойных гетерогенных оболочках и пластинах, имитирующих корпус летательного аппарата, а также связанных с корпусом элементов, позволяющие определять максимальные импульсные нагрузки, приводящие к дефектам гетероструктур. Рассматриваются условия и методы предотвращения или остановки распространения трещин в оболочках, с учетом изменений свойств материала в зависимости от скорости деформирования.

Ключевые слова: многослойная оболочка, гетероструктура, остановка трещин, скорость деформирования, напряжение.

SIMULATION OF DYNAMICS OF SPACECRAFT HULL HETEROSTRUCTURES UNDER IMPACT LOADS

©2021

Vol'nikov Mikhail Ivanovich, candidate of technical sciences,
associate professor, sub-department of automation and control
Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova lane / Gagarina Street, 1a/11, e-mail: vmi1972@yandex.ru)

Abstract. The increasing loads on space technology associated with longer life and increased payloads in orbit have increased the reliability requirements of aircraft, most of whose hull elements are multilayer heterostructures. These heterostructures are subjected to chaotic effects that can lead to defects in the hulls of the apparatus, especially in areas with increased stresses in the material, on which fractures of the material can occur with the formation of cracks. The development of methods for improving the reliability of aerospace vehicles is directly related to the study of the behavior of heterostructures under various types of loads. The solution of this problem is facilitated by modeling of processes taking place in stressed structures, which makes it possible to find out the causes of defects and identify means of eliminating or neutralizing defects without carrying out costly full-scale tests. The article discusses methods of mathematical description of stresses in multilayer heterogeneous shells and plates that simulate the aircraft hull, as well as elements associated with the hull, which allow determining maximum impulse loads leading to defects in heterostructures. Conditions and methods of preventing or stopping crack propagation in shells are considered, taking into account changes in material properties depending on deformation rate.

Keywords: multilayer shell, heterostructure, crack stop, strain rate, stress.

Введение. В последнее время на космических аппаратах, составляющих основу МКС, возникают проблемы утечки воздуха из-за появления трещин в корпусе корабля. Среди основных причин возникновения трещин можно выделить следующие:

- брак в обшивке корабля при изготовлении;
- напряжения, связанные с разностью внешнего и внутреннего давления в аппарате;
- случайные импульсные нагрузки, вызванные ударами космического мусора, метеоритных тел, потенциально возможными спецвоздействиями противника.

Причинами возникновения микротрещин могут также явиться большие нагрузки на корпус при включении двигателей, пристыкованных кораблей, воздействия на корпус космической станции многочисленных наводок от работающих электроприборов и магнитного поля Земли. В связи с этим растут требования к надежности и безопасности аэрокосмической техники, особенно к надёжности корпусов конструкций и прилегающих к ним элементов.

При изготовлении корпусов космических аппаратов, в большинстве случаев применяются многослойные гетерогенные материалы, обладающие

улучшенными защитными свойствами и отвечающие экстремальным условиям эксплуатации. К таким гетерогенным материалам относятся различные композиты, керамики, разнородные многослойные оболочки. Основные элементы конструкций космической техники являются материалы, в большинстве случаев, представляющие собой пластины и оболочки, имеющие многослойные гетерогенные структуры, выполненные из металлических и неметаллических материалов [1-3]. Эти элементы подвергаются в процессе эксплуатации действию внешних и внутренних возмущений, основными из которых являются:

- интенсивные динамические нагрузки;
- работа в широком диапазоне температур;
- контакт с агрессивными средами;
- интенсивное облучение и т.д.

Многослойность элементов конструкций дает существенное преимущество перед однослойными материалами, заключающееся в возможности варьирования в широком диапазоне жесткостными, прочностными и весовыми характеристиками, что позволяет уменьшить вес конструкции, увеличить полезную массу, а также повысить трещиностойкость конструкций, устойчивость к разрушениям за счет диссипации энергии в слоях [4]. Корпуса космических аппаратов принято представлять в виде многослойной оболочечной структуры из металлических и неметаллических материалов с отличающимися физико-механическими свойствами. При интенсивных импульсных или ударных нагрузках, при изменяющихся температурных воздействиях в гетерогенных слоях могут возникать пластические деформации и разрушения [5].

Задача проектировщика состоит в создании гетерогенных материалов высокой прочности, противостоящих появлению усталостных деформаций в процессе эксплуатации техники. Проблема решается за счет подбора структуры, состава и размеров специальных материалов, обеспечивающих заданную прочность конструкции при наличии трещин. Другой путь заключается в применении элементов надежности (специальных дорожек переменных нагрузок и пробок, препятствующих развитию трещин), а также в использовании материалов, обладающих низкой скоростью развития трещин при усталости материала [6, 7].

Разработка методов повышения качества и надежности гетерогенных элементов корпусов конструкций и прилегающих к ним элементов космической техники делает данное направление перспективным и актуальным.

Целью работы является исследование факторов, влияющие на снижение надежности сложных гетероструктур на основе математических моделей, проходящих в них процессов.

Материалы и результаты исследования. Для решения поставленной задачи требуется выяснить прямые и косвенные причины снижения надежности и возникновения дефектов в гетероструктурах космической техники.

В качестве основных причин можно выделить следующие:

- наружное давление, действующее на корпус корабля, изменяется в широком диапазоне: от атмосферного (на уровне Земли), до практически нулевого при выходе на орбиту, а давление внутри остается атмосферным, что может привести к образованию трещин, в случае недостаточной надежности корпуса;
- наличие космического мусора, остатки астероидов, попадающих в обшивку корабля, способны вызвать разгерметизацию корпуса с образованием трещин;
- резкие перепады температур вызывают деформации и появление напряжений в конструкциях из разнородных материалов с различными температурными коэффициентами расширения;
- резонансные колебания многослойных гетерогенных конструкций на основной частоте, приводящие к образованию трещин и разрушению материала конструкции [8];
- наличие жесткого космического излучения приводит к изменению свойств гетерогенных материалов, из которых изготовлен корпус. Под влиянием космической радиации меняются физико-механические свойства нагруженных элементов конструкций, что может привести к разрушению и сокращению срока эксплуатации техники [9, 10].

Изучение влияния вышеперечисленных факторов возможно с применением комплексных исследований с использованием математического моделирования гетерогенных оболочечных и пластинчатых конструкций. Математическое моделирование позволит значительно удешевить исследования физических процессов, протекающих в гетерогенных конструкциях и в материалах, за счет отказа от использования натуральных испытаний и экспериментов.

Исследования в области гетерогенных оболочечных и пластинчатых конструкций, можно разделить на два направления. Первое направление направлено на исследование общих математических моделей гетероструктур, которые описывают нелинейные процессы, происходящие при деформации и разрушении и вызывающие деформации нестационарные процессы. Второе направление предполагает поиск и выбор оптимальных методов решения задачи на основе известных фундаментальных моделей и проведение соответствующего анализа полученных результатов.

1. Учет скорости деформирования. Для получения и анализа количественной картины останки трещин при использовании гетерогенных материалов в конструкциях современной космической и авиатехники необходимы тщательные теоретические и экспериментальные исследования, в том числе на адекватных математических моделях. При использовании моделей для исследования деформирования конструкций должны быть учтены как нелинейные эффекты в материалах, так и новые эффекты: анизотропия жесткости и прочности в конструкциях; неоднородность упругих и прочностных свойств в различных направлениях

конструкции, определяющих несущую способность конструкции; вязкоупругие свойства материалов, определяющих рассеяние энергии в конструкциях [4].

Экспериментально установлено что у большинства материалов динамические свойства сильно различаются при статических и динамических нагрузках. Главная причина этого заключается в чувствительности материалов к скорости деформации, которая может быть большой, например, при столкновении оболочек или пластин с твёрдыми телами, обладающими значительной скоростью, особенно при спецвоздействиях. Следовательно, при решении динамических задач необходимо учитывать зависимость свойств материала от скорости деформации. Поведение материала при больших скоростях деформирования, возникающих, например, при испытаниях на падение или удар, может существенно отличаться от деформаций, полученных телом в статике, когда измеряются интенсивности напряжений до и после возникновения трещины.

Чувствительность к скорости деформирования для динамических расчетов в металлах учтена в известных моделях Купера-Саймонда и Джонсона-Кука, а для полимеров обычно используется вязкоупругая или вязкопластичная модели. Эти модели с достаточной степенью адекватности описывают зависимость предела текучести материала от скорости деформации с учетом кинематических упрочнений за счет введения в модель масштабирующего коэффициента [11, 12] и представляются формулой

$$\sigma_T^{дinh} = \sigma_T \beta; \beta = 1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C}\right)^{1/P}, \quad (1)$$

где $\dot{\epsilon}$ скорость деформации; σ_T – предел текучести, $\sigma_T^{дinh}$ – динамический предел текучести; C, P – константы материала.

При достижении эффективной пластической деформацией предельного значения в материале конструкции наступают разрушения

$$\epsilon_{eff}^p > \epsilon_B; \quad \epsilon_{eff}^p = \int_0^t \left(\frac{2}{3} \dot{\epsilon}_{ij}^p \dot{\epsilon}_{ij}^p\right)^{1/2} dt, \quad (2)$$

где $\dot{\epsilon}_{ij}^p$ – компоненты тензора скоростей пластической деформации.

Для учета кроме эффективной пластической деформации и скорости деформации еще и температурной зависимости при описания предела текучести модель усложняют, вводя дополнительные параметры, характеризующие температурное разупрочнение [12, 13].

$$\sigma_T(\epsilon_{eff}^p, \dot{\epsilon}_{eff}^p, T) = [\sigma_{T_0} + A(\epsilon_{eff}^p)^n] \times \left[1 + C_1 \ln\left(\frac{\dot{\epsilon}_{eff}^p}{\dot{\epsilon}_0}\right)\right] \left[1 + \left(\frac{T - T_0}{T_{melt} - T_0}\right)^m\right], \quad (3)$$

где $\dot{\epsilon}$ и T_0 – референтные скорость деформации и температура; T_{melt} – температура плавления металла; σ_{T_0} – предел текучести материала при комнатной температуре; A – чувствительность к деформации, C_1 – чувствительность к скорости деформации, n – параметр, отвечающий за влияние деформационного упрочнения, m – параметр, описывающий температурное разупрочнение.

Критерием разрушения является сопряженная модель на базе кумулятивного закона накопления поврежденности d

$$d = \sum \frac{\Delta \epsilon_{eff}^p}{\epsilon_f^p}, \quad \epsilon_f^p = \left[d_1 + d_2 \exp\left(d_3 \frac{p}{q}\right)\right] \times \left[1 + d_4 \ln\left(\frac{\dot{\epsilon}_{eff}^p}{\dot{\epsilon}_0}\right)\right] \left(1 + d_5 \frac{T - T_0}{T_{melt} - T_0}\right), \quad (4)$$

где ϵ_f^p – характеристика текущего состояния элементарного объема материала, показывающая критическую интенсивность пластических деформаций, d_i ($i = 1-5$) – константы материала, p и q – первый и второй инварианты тензора напряжений [12].

2. Учет физических и химических свойств гетерогенных материалов. Для повышения надежности оболочек необходим тщательный подбор материала с особыми свойствами. Важное значение имеют материалы, обладающие низкой чувствительностью к скорости деформации или с обратным эффектом скорости, когда увеличение скорости распространения трещины приводит к увеличению сопротивления хрупкому разрушению [6].

Эффект влияния скорости на длину остановки трещины описывается уравнением

$$\frac{v}{c_0} = \frac{35}{3FEy^2} \left[\frac{3EIy^2}{2} \left(\frac{1}{l_0^3} - \frac{1}{l^3}\right) - \int_{l_0}^l (G_{tc} - K) dl\right]^{1/2}, \quad (5)$$

где v и C_0 – скорость распространения трещины и продольной волны соответственно; y – стрела прогиба; F – площадь сечения материала; l и l_0 – текущая и начальная длина трещины соответственно; E – модуль Юнга; I – момент инерции поперечного сечения; G_{tc} – сопротивление хрупкому разрушению при плоской деформации; $K = -(dy/dvc)dv$; γ – текущая скорость поглощения энергии, связанная с необратимыми процессами диссипации энергии во время распространения трещины [4].

Принципиально возможен контроль образования трещин в оболочках и пластинах. Задачей в этом случае является нахождение необходимой зависимости $K(l)$. Существует значение K , ниже которого рост трещины будет уже невозможен [14]

$$\frac{3EIy^2}{2} \left(\frac{1}{l_0^3} - \frac{1}{l^3}\right) \leq \int_{l_0}^l [G_{tc} - K(l)] dl. \quad (6)$$

Другим вариантом конструкции, позволяющих предотвращать появления трещин, является применение трехслойных неоднородных по толщине оболочек с тонкостенными жесткими внешними слоями и относительно мягким межслойным наполнителем. Можно также назвать многослойный полимер, обладающий способностью к «самозаживлению». Если в оболочке появляется трещина, например, от микрометеорита, материал автоматически заливает ее и застывает, сохраняя герметичность. В долгосрочной перспективе этот материал может быть использован для защиты космических станций от микрометеоритов и небольшого орбитального космического мусора. Между двумя полимерными пластинами находится слой, содержащий анаэробный герметик специального состава (на основе тиола). Без контакта с воздухом герметик длительное время остается жидким. При попадании,

например, метеорита в полимерные оболочки, герметик начинает выходить и контактирует с воздухом, вызывая химическую реакцию. Полученная масса затвердевает и быстро устраняет трещину [15].

Исходя из вышесказанного, можно выделить несколько путей устранения трещин. Один из них – подбор материалов с определенными свойствами и применение конструктивных решений. Способы, которые совмещают особенности обоих путей предусматривают применение многослойных гетерогенных оболочек или пластин [6].

3. Методика расчета параметров деформирования многослойных оболочек под действием импульсных нагрузок, имитирующих удар метеорита. Для исследования процессов, происходящих в многослойных пластинах и оболочках неоднородной толщины, используются модели ударпрочных многослойных покрытий при взаимодействии с твердыми телами, в том числе и с метеорными телами, которые позволяют гасить ударные нагрузки, действующие на конструкцию.

Практическим приложением методики численного моделирования деформирования многослойных, неоднородных по толщине оболочек под действием ударного взаимодействия с жесткими телами, например метеоритами или космическим мусором, является проектирование многослойных конструкций с ударостойкими покрытиями, демпфирующие ударные нагрузки на оболочку [16, 17].

Кинематическая модель деформирования слоя многослойных оболочек может быть определена гипотезами линейности изменения по толщине нормальных и касательных перемещений

$$s_i^k(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, t) = \tilde{s}_i^k(\alpha_1, \alpha_2, t) + \alpha_3^k \varphi_i^k(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, t) \quad (7)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – координаты точки в криволинейной системе координат;

$$\tilde{s}_i^k = (s_i^{k+1} + s_i^k)/2; \varphi_i^k = (s_i^{k+1} - s_i^k)/h_k;$$

s_i^{k+1} и s_i^k – тангенциальные и нормальные составляющие перемещений на внешней и внутренней поверхностях k -го слоя; h_k – толщина слоя [4].

В однородных слоях оболочек физические зависимости устанавливаются на основе дифференциальной теории пластичности, а в композитных слоях – на основе закона Гука и теории вязкоупругости [18, 19].

Совместное движение оболочки и жесткого тела описывается на основе вариационного уравнение принципа возможных перемещений:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^N \int_0^L \left[\frac{T_{11}^{0k}}{A_1^k} \frac{\partial(\delta s_1^{k+1})}{\partial \alpha_1} + \right. \\ & + \left(\frac{T_{22}^{0k}}{A_1^k A_2^k} \frac{\partial A_2^k}{\partial \alpha_1} - k_1^k T_{13}^{0k} + T_{13}^{1k} \right) \delta s_1^{k+1} + \\ & + \frac{T_{13}^{0k}}{A_1^k} \frac{\partial(\delta s_3^{k+1})}{\partial \alpha_1} + \\ & + (T_{11}^{0k} k_1^k + T_{22}^{0k} k_2^k + T_{33}^{0k}) \delta s_3^{k+1} + \frac{T_{11}^{1k}}{A_1^k} \frac{\partial(\delta s_1^k)}{\partial \alpha_1} + \\ & + \left(\frac{T_{22}^{1k}}{A_1^k A_2^k} \frac{\partial A_2^k}{\partial \alpha_1} - k_1^k T_{13}^{0k} - T_{13}^{1k} \right) \delta s_1^k + \frac{T_{13}^{0k}}{A_1^k} \frac{\partial(\delta s_3^k)}{\partial \alpha_1} + \end{aligned}$$

$$+ (T_{11}^{1k} k_1^k + T_{22}^{1k} k_2^k - T_{33}^{1k}) \delta s_3^k \Big] A_1^k A_2^k d\alpha_1 + \quad (8)$$

$$+ \sum_{k=1}^N \int_0^L \sum_{i=1,3}^L I^k [(2\tilde{s}_i^{k+1} + \tilde{s}_i^k) \delta s_i^{k+1} +$$

$$+ (\tilde{s}_i^{k+1} + 2\tilde{s}_i^k) \delta s_i^k] A_1^k A_2^k d\alpha_1 -$$

$$- \int_0^L \sum_{i=1,3}^L (F_i^1 \delta s_i^1 + F_i^{N+1} \delta s_i^{N+1}) d\alpha_1 -$$

$$- \sum_{i=1}^N [(\bar{T}_{11}^{0k} \delta \tilde{s}_1^{k+1} + \bar{T}_{13}^{0k} \delta \tilde{s}_3^{k+1} +$$

$$+ \bar{T}_{11}^{1k} \delta \tilde{s}_1^k + \bar{T}_{13}^{1k} \delta \tilde{s}_3^k) A_1^k A_2^k] \Big|_{\alpha_1=0,L} +$$

$$+ \sum_{i=1, N+1}^L \int_0^L \lambda (\delta s_3^i - \delta x) A_1^i A_2^i d\alpha_1 +$$

$$+ \frac{m}{2\pi} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \delta x = 0,$$

$$s_2^1(\alpha_1, -h/2, t) = x(t), s_2^{N+1}(\alpha_1, -h_N/2, t) = x(t), \quad (9)$$

$$\alpha_1 \in L_1$$

где L – длина образующей оболочки; L_1 – длина линии контакта, определяемая в процессе решения; λ – неопределенный множитель Лагранжа; $x(t)$ – перемещение жесткого тела; $A_1^k, A_2^k, A_1^1, A_2^1$ – параметры Ламе; k_1^k, k_2^k – главные кривизны поверхностей оболочек;

$T_{11}^{0k}, T_{13}^{0k}, T_{22}^{0k}, T_{33}^{0k}, T_{11}^{1k}, T_{13}^{1k}, T_{22}^{1k}, T_{33}^{1k}, \bar{T}_{11}^{0k}, \bar{T}_{13}^{0k}, \bar{T}_{11}^{1k}, \bar{T}_{13}^{1k}$ – компоненты усилий, приложенных к соответствующим граничным линиям [4].

Из выражения (8) получим:

– уравнения движения оболочки:

$$\frac{\partial(A_2^1 T_{11}^1)}{\partial \alpha_1} - T_{22}^1 \frac{\partial A_2^1}{\partial \alpha_1} + (T_{13}^{*k} k_1^1 + T_{13}^1) A_1^1 A_2^1 + F_1^1 =$$

$$= A_1^1 A_2^1 (2I^1 \tilde{s}_1^1 + I^1 \tilde{s}_1^2),$$

$$\frac{\partial(A_2^k T_{11}^k)}{\partial \alpha_1} - T_{22}^k \frac{\partial A_2^k}{\partial \alpha_1} + (T_{13}^{*k} k_1^k - T_{13}^k) A_1^k A_2^k =$$

$$= A_1^k A_2^k (I^k \tilde{s}_1^{k-1} + 2(I^k + I^{k-1}) \tilde{s}_1^k + I^k \tilde{s}_1^{k+1}),$$

$$\frac{\partial(A_2^{N+1} T_{11}^{N+1})}{\partial \alpha_1} - T_{22}^{N+1} \frac{\partial A_2^{N+1}}{\partial \alpha_1} +$$

$$+ (T_{13}^{*N+1} k_1^{N+1} - T_{13}^{N+1}) A_1^{N+1} A_2^{N+1} + F_1^{N+1} =$$

$$= A_1^{N+1} A_2^{N+1} (I^N \tilde{s}_1^N + 2I^N \tilde{s}_1^{N+1}),$$

$$\frac{\partial(A_2^1 T_{13}^1)}{\partial \alpha_1} - A_1^1 A_2^1 (T_{11}^1 k_1^1 + T_{22}^1 k_2^1 + T_{33}^1) +$$

$$+ F_3^1 = A_1^1 A_2^1 (2I^1 \tilde{s}_3^1 + I^1 \tilde{s}_3^2),$$

$$\frac{\partial(A_2^k T_{13}^k)}{\partial \alpha_1} - A_1^k A_2^k (T_{11}^k k_1^k + T_{22}^k k_2^k + T_{33}^k) =$$

$$= A_1^k A_2^k (I^k \tilde{s}_3^{k-1} + 2(I^k + I^{k-1}) \tilde{s}_3^k + I^k \tilde{s}_3^{k+1}), \quad (10)$$

$$\frac{\partial(A_2^{N+1} T_{13}^{N+1})}{\partial \alpha_1} -$$

$$- A_1^{N+1} A_2^{N+1} (T_{11}^{N+1} k_1^{N+1} + T_{22}^{N+1} k_2^{N+1} + T_{33}^{N+1}) +$$

$$+ F_3^{N+1} = A_1^{N+1} A_2^{N+1} (I^N \tilde{s}_3^N + 2I^N \tilde{s}_3^{N+1});$$

$$I^n = \rho_n h_n / 6,$$

где ρ_n – определяет плотность n -го слоя, $n=k, N, N+1$

– уравнение для описания движения ударника:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 2\pi \int_0^{L_1} (F_1^1 A_1^1 A_2^1 + F_1^{N+1} A_1^{N+1} A_2^{N+1}) d\alpha_1; \quad (11)$$

где $F^1, F^3, F^{N+1}, F^k, F^{N+1}$ – узловые контактные силы оболочки и ударника (с индексом «*») соответственно.

– граничные условия при $\alpha_l = 0, L$:

$$\begin{aligned} T_{11}^1 &= \bar{T}_{11}^{11}, T_{11}^k = \bar{T}_{11}^{0k-1} + \bar{T}_{11}^{1k}, \\ T_{11}^{N+1} &= \bar{T}_{11}^{0N}, T_{13}^{*1} = \bar{T}_{13}^{11}, \\ T_{13}^{*k} &= \bar{T}_{13}^{0k-1} + \bar{T}_{13}^{1k}, T_{13}^{*N+1} = \bar{T}_{13}^{0N}. \end{aligned} \quad (12)$$

Дополнив уравнения (10) - (12) начальными условиями

$$\begin{aligned} s_i^k(\alpha_1, 0) &= s_i^{0k}(\alpha_1), \dot{s}_i^k(\alpha_1, 0) = \dot{s}_i^{0k}(\alpha_1), \\ x(0) &= x_0, \dot{x}(0) = V_0, \end{aligned} \quad (13)$$

получим систему уравнений, позволяющих проводить анализ нелинейного деформирования многослойных оболочек и пластин при осенаправленном нагружении в виде импульсов силы или соударения с жестким телом.

Для интегрирования системы уравнений (8...13) применяется метод конечных разностей [20, 21], в основе которого лежит и вариационно-разностная схема

$$\begin{aligned} \dot{s}_i^k(t^{n+1/2}) &= \dot{s}_i^k(t^{n-1/2}) + \Delta t \ddot{s}_i^k \\ (i = \overline{1,3}, \quad k = \overline{1, K+1}), \end{aligned} \quad (14)$$

Методика расчета, позволяющая моделировать многослойные ударостойкие оболочки при различных взаимодействиях типа удара, взрыва, поверхностного нагружения или распределенного давления заключается в нахождении на каждом $n+1$ шаге нового положения центра масс тела при контакте с жестким телом и вычислении по формулам (14) перемещений узлов разностной сетки оболочки [4]. Расчет производится с применением метода конечных разностей и прикладных программ для ЭВМ.

Использование математических моделей корпусов кораблей позволит смоделировать условия и динамику поведения оболочек еще до вывода их на орбиту, тем самым определить наиболее уязвимые места. Это даст возможность в значительной мере повысить надежность корпусов кораблей, снизить затраты на ремонт на орбите, повысить долговечность.

Заключение. Описаны факторы, влияющие на надежность сложных гетероструктур, представлено математическое описание процессов деформации конструкций на их основе. Выяснены основные причины снижения надежности и возникновения дефектов в гетероструктурах космической техники. Для предотвращения возникновения разрушений в гетерогенных материалах рекомендованы подбор материалов с пониженной чувствительностью к скорости деформации; использование эффекта влияния скорости распространения на длину остановки трещины; применение многослойных конструкций с ударостойкими покрытиями и самотвердеющими материалами. Предложены аналитические методики исследования скорости деформации и разрушения корпусов космических аппаратов, пригодные для компьютерного моделирования процессов в гетероструктурах под действием импульсных нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тестоедов, Н.А. Применение трехслойных сотовых конструкций в космических аппаратах / Н.А. Толстоедов, В.Н. Наговицин, М.Ю. Пермяков // Вестник СибГАУ. – 2016. – Т.17. – №1. – С.200-211.
2. Несущая панель корпуса космического аппарата (варианты): заявка 2004119696/11 Рос. Федерация: В 64 G 1/100 / Болотин В.А., Дядькин А.А., Лебедев В.И.; заявитель ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия»; заявл. 28.06.2004; опубл. 10.12.2005. – Бюл. №34
3. Динамика гетерогенных структур в 3 т. Эволюция ракетно-космических гетерогенных структур / В.В. Смогунов, М.И. Степанов, В.Н. Решилов и др. Под ред. В.В. Смогунова, М.И. Степанова – Т.1. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 311 с.
4. Абросимов, Н.А. Нелинейные задачи динамики композиционных конструкций / Н.А. Абросимов, В.Г. Баженов – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2002. – 400 с.
5. Коган, Е.А. О деформировании трехслойной сферической оболочки с сжимаемым наполнителем под действием акустической волны давления / Е.А. Коган, А.А. Юрченко // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т.3. – №1(15). – С.61-68.
6. Разрушение. Пер. с англ. В 7 томах. Том 5: Расчет конструкций на хрупкую прочность / Под ред. Г. Либовица – М.: «Машиностроение», 1977.
7. Инженерный справочник по космической технике. Под ред. Солдатова А.В. Воениздат, М. – 1977. – 430 с.
8. Деев, П.О. Определение основной частоты колебаний трехслойной панели корпуса космического аппарата / П.О. Деев, Ф.К. Синьковский // Вестник СибГАУ. – 2017. – Т.18. – №1. – С.40-49.
9. Влияние радиационных сред на механические характеристики материалов и поведение конструкций / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, М.Ю. Богина [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2012. – №4.
10. Острик, А.В. Математическая модель разрушения композиционных оболочек высокого давления под действием лучистых потоков энергии / А.В. Острик, С.С. Слободчиков // Математическое моделирование – 1995. – Т. 7. – № 10. – С. 33-46.
11. Важность учета скорости деформирования материала в задачах динамики, решаемых в явной постановке / Сайт компании «Софт Инжиниринг Групп» [сайт], 2017. – URL: <https://www.ansys.soften.com.ua/about-ansys/blog/222-vazhnost-ucheta-skorosti-deformirovaniya-materiala-v-zadachakh-dinamiki-reshaemykh-v-yavnoj-postanovke.html> (дата обращения: 25.07.2021)
12. Экспериментальная верификация моделей деформационного поведения и высокоскоростного разрушения титанового сплава ВТ6 / М.Ш. Нихамкин, Л.В. Воронов, О.Л. Любчик, И.Л. Гладкий // Известия Самарского НЦ РАН. – 2011. – Т.13. – №4(4). – С. 991-997.
13. Кузькин, В.А. Применение численного моделирования для идентификации параметров модели Джонсона-Кука при высокоскоростном деформировании алюминия / В.А. Кузькин, Д.С. Михалюк // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – Т.3. – №1. – С.32-43.
14. Сазанов, В. П. Исследование закономерностей остановки усталостной трещины в цилиндрическом образце с надрезом / Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – Т. 17. – № 1. – С.160-169.
15. Материал для космических кораблей, восстанавливающийся после пробоя / Сайт «Хабр» [сайт], 2015. – URL: <https://habr.com/ru/post/383429/> (дата обращения: 29.07.2021)
16. Динамика гетерогенных структур. Вибродарозащита гетерогенных структур. Том 3. / В.В. Смогунов, И.П. Климинов, О.А. Вдовикина, М.И. Вольников // Под ред. В.В. Смогунова. – Пенза: Из-во Пенз.гос ун-та, 2005. – 497 с.
17. Ванько, В.И. Цилиндрическая оболочка конечной длины под внешним гидростатическим давлением / В.И. Ванько // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: математика. Физика. – 2016. – №13(234). – С.156-168.
18. Манабаев, К.К. Модификации приближенных методов расчета напряженно-деформированного состояния конструкций из вязкоупругих и композиционных материалов: диссертация канд. физ.-мат. наук: 01.02.04 / Манабаев Кайрат

Камитович. – Томск, 2016. – 152 с.

19. Вольников, М.И. Математические модели динамики гетероструктур с трением / М. И. Вольников, В. В. Смогунов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2020. – № 3 (55). – С. 98–108. – DOI 10.21685/2072-3059-2020-3-10.

20. Шейн, А.И. Метод конечных элементов в современных иностранных книгах / О.Г. Земцова, А.И. Шейн, О.В. Волкова // Современные научные исследования и инновации. Ч.1. – М: Междунар. научно-иннов.центр, 2015.– № 3 – С. 129-132.

21. Volnikov, M.I. Application of the finite difference method for modeling cantilever bar vibrations / M.I. Volnikov // E3S Web of Conferences, 224 (2020), TPACEE-2020 – P.02002

Статья поступила в редакцию 10.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 635.62

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0021

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПЮРЕОБРАЗНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МЯКОТИ ТЫКВЫ

©2021

Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры Технологии питания
Аббазова Венера Нагимовна, аспирант, ассистент кафедры Управления качеством

Уральский государственный экономический университет

(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 Марта/Народной Воли, 62/45,

e-mails: shkolnikova.m.n@mail.ru, abbazova@usue.ru)

Аннотация. Одно из современных направлений переработки растительного сырья – использование местных овощей и плодов, что делает возможным удовлетворение потребностей населения конкретного региона РФ в продуктах питания за счет регионального производства. В настоящее время традиционные методы переработки овощного сырья заменяются биотехнологическими и, прежде всего, это связано с использованием ферментов. Ферменты используются для биотрансформации практически любого вида овощного сырья, что позволяет получать продукты питания / напитки более высокого качества и пищевой ценности, а также существенно повысить глубину его переработки. Целью данной работы является исследование влияния ферментного препарата на состав и свойства каротиноидсодержащего пюре из мякоти тыквы. По результатам проведенного исследования выявлено, что использование приема ферментативного гидролиза пюрированной мякоти тыквы позволяет повысить пищевую ценность за счет увеличения содержания сахаров, биологическая ценность получаемого полуфабриката несколько снижается, однако сохранность аскорбиновой кислоты увеличивается в 2,5–3,5 раза, каротина – в 3,2–5,7 раза по сравнению с контрольными образцами пюре, полученными бланшированием.

Ключевые слова: тыква, ферментативная обработка сырья, мякоть тыквы, каротиноиды.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF ENZYMATIVE PROCESSING ON THE QUALITY OF PURE-like SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM PUMPKIN PULP

©2021

Shkolnikova Marina Nikolaevna, doctor of Technical Sciences, professor at the Department of Nutrition Technology
Abbazova Venera Nagimovna, postgraduate student, assistant of the Department of Quality Management

Ural State Economic University

(620144, Russia, Yekaterinburg, 8 Marta / Narodnaya Volya street, 62/45,

e-mails: shkolnikova.m.n@mail.ru, abbazova@usue.ru)

Abstract. One of the modern trends in the processing of vegetable raw materials is the use of so-called local vegetables and fruits, which makes it possible to meet the needs of the population of a particular region of the Russian Federation in food products through regional production. Currently, traditional methods of processing vegetable raw materials are being replaced by biotechnological ones and, first of all, this is due to the use of enzymes. Enzymes are used for biotransformation of almost any type of vegetable raw material, which allows obtaining food / drinks of higher quality and nutritional value, as well as significantly increasing the depth of its processing. The aim of this work is to study the effect of an enzyme preparation on the composition and properties of carotenoid-containing pumpkin pulp puree. According to the results of the study, it was revealed that the use of enzymatic hydrolysis of puréed pumpkin pulp allows to increase the nutritional value, due to an increase in the sugar content, the biological value of the resulting semi-finished product slightly decreases, but the safety of ascorbic acid increases 2.5-3.5 times, carotene - in 3.2-5.7 times compared to the control puree samples obtained by blanching.

Keywords: pumpkin, enzymatic processing of raw materials, pumpkin pulp, carotenoids.

Введение. Многочисленными исследованиями доказано, что для населения многих регионов РФ характерны полигиповитаминозные состояния, в частности, у 28-45 % жителей северных и сибирских регионов независимо от времени года имеется дефицит по трем витаминам и более: витамины группы *B, E, D, C* и каротиноиды [1].

Жирорастворимые каротиноиды можно выделить в отдельную группу, благодаря широкому спектру физиологического действия, а также незаменимости, поскольку организмы млекопитающих неспособны к их биосинтезу, – *de novo* каротиноидные соединения синтезируются только в растениях и микроорганизмах. Выраженное антиоксидантное действие каротинои-

дов заключается в их способности поглощения путем полной или частичной диссипации энергии синглетных атомов кислорода и реагировать с образующимися в организме свободными радикалами. Недостаточность употребления каротиноидов в пищу приводит к возникновению в организме дефицита витамина *A* [2, 3]. Установленная в России суточная физиологическая потребность каротиноидов (β -каротина) для взрослых составляет не менее 5 мг.

Самым эффективным путем решения данной проблемы является употребление как непосредственно свежих плодов и овощей как источника каротиноидов, так и продуктов их эффективной переработки, максимально сохраняющей их нативные формы, по-

луфабрикатов и приготовленных с их использованием пищевых продуктов. Особая роль при этом отводится местным сырьевым ресурсам, так как в настоящее время один из мировых трендов переработки растительного сырья – использование так называемых локальных овощей и плодов, радиус произрастания которых не превышает 100 км, что делает возможным удовлетворение потребностей населения конкретного региона РФ в продуктах питания за счет регионального производства. Практический интерес представляют плоды и овощи, прочно вошедшие в культуру определенных территорий, знакомы своими вкусовыми и полезными свойствами и в течение длительного времени не теряют свои потребительские качества, но недооценены как источники БАВ, в частности каротиноидов. В этой связи перспективной для использования в пищевой технологии является мякоть тыквы обыкновенной (*Cucurbita pepo*), выращиваемой в РФ практически повсеместно как сельхозпредприятиями, так и населением.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались аспекты этой проблемы и на которых обосновывается автор; выделение неразрешенных раньше частей общей проблемы. Наряду с каротиноидами, в мякоти тыквы содержится широкий перечень нутриентов: пищевые волокна, пектин и другие полисахариды, макро- и микроэлементы, полифенольные соединения и др., обуславливающие противодиабетическое, антиоксидантное, антиканцерогенное, гипотензивное, гипогликемическое и гипохолестеролевое, противовоспалительное действия [4-7].

Надо сказать, что в виду сезонности сырья особую роль приобретают используемые в различных отраслях пищевой промышленности каротиноидсодержащие полуфабрикаты, а эффективная переработка каротиноидсодержащего сырья, в том числе методами биотехнологии, на сегодняшний день является мировой тенденцией – традиционные методы переработки овощного сырья заменяются биотехнологическими и, прежде всего, это связано с использованием ферментов. Ферменты используются для биотрансформации практически любого вида овощного сырья, что позволяет получать продукты питания / напитки более высокого качества и пищевой ценности, а также существенно повысить глубину его переработки. Наибольший технологический эффект использования ферментов получен в технологии соковой продукции [8-12].

Также ферментные препараты широко используются для выделения пектина из мякоти тыквы: целлюлаза, гемицеллюлаза и комплекс гликозидаз [13], микробных ферментов из *Aspergillus awamori* [14], мультиферментная культура различных штаммов *Bacillus polymyxa* [15], пектиназа [16] и др., позволяющих получать пектины с улучшенными технологическими свойствами или больший выход пектина по сравнению с кислотным гидролизом. Комбинация ферментативной обработки и ультразвука позволила получить экстракты полисахаридов с более высокой

антиоксидантной активностью [17].

Известно использование коммерческих ферментных препаратов *Pectinex* и *Termamyl* [18], *Pectinex* и *Celluclast* [19] с целью получения пореобразного продукта для дальнейшей эффективной распылительной сушки. Вместе с тем, работ по использованию ферментных препаратов для частичного или полного гидролиза полисахаридов с целью улучшения вкуса и консистенции пореобразных полуфабрикатов из мякоти тыквы, крайне мало.

Вышесказанное обусловило актуальность и цель настоящего исследования: исследовать влияние ферментного препарата на состав и свойства каротиноидсодержащего пюре из мякоти тыквы.

Материалы и результаты исследования. Объектами исследования являлись: свежая мякоть тыквы культивируемых в Свердловской обл. среднеспелых крупноплодных сортов «Россиянка», «Улыбка» и «Оранжевая кустовая», собранных в стадии потребительской степени зрелости без повреждений и признаков порчи в середине сентября 2020 г (Сысертский район); тыквенное пюре, полученное из нарезанной на кусочки 3×3 см мякоти после отделения от корковой оболочки, семян и семенной мякоти: измельчением и блендированием бланшированных в течение 10 мин при $T=100^{\circ}\text{C}$ частей мякоти (контроль), а также обработанное ферментным препаратом в течение 5–60 мин при $T=60^{\circ}\text{C}$ (опыт). Использован амилолитический ферментный препарат *Termamil SC* (производство «Novozymes A/S», Дания), представляющий собой термостабильную бактериальную α -амилазу с характеристиками: активность $AC = 1800$ ед/см³ (по ГОСТ Р 54330-2011), оптимум pH 5,0–9,0, температурный оптимум 55–95 $^{\circ}\text{C}$, инактивация после 110 $^{\circ}\text{C}$.

Исследование мякоти тыквы и образцов пюре выполнены с использованием стандартных и общепринятых методов: состояние мякоти образцов – по ГОСТ 7975-2013, содержание: сухих веществ – по ГОСТ ISO 2173-2013, редуцирующих сахаров – перманганатным методом по ГОСТ 8756.13–87, кислот – потенциометрическим титрованием по ГОСТ ISO 750-2013, каротина – по ГОСТ ISO 6558-2-2019, аскорбиновой кислоты – титриметрическим методом с 2,6-дихлорфенолиндофенолятом по ГОСТ 24556-89, железа – по ГОСТ 26928-86, магния и кальция – по ГОСТ 23268.5-78.

Оценку органолептических показателей образцов тыквенного пюре проводили при температуре 22 $^{\circ}\text{C}$ и естественном освещении по следующим показателям: цвет, аромат, вкус (с выделением привкусов) и консистенция – по ГОСТ 8756.1-2017.

На первом этапе исследования определили физико-химические показатели качества исходного сырья (табл. 1).

Установлено, что содержание сухих веществ в образцах тыквы составляет от 8,15% до 11,6%, наибольшее содержание сахаров в сорте «Оранжевая кустовая» – 7,40%, все исследуемые сорта тыквы содержат незначительное количество кислот, что объяс-

няет пресный вкус мякоти. Биологическую ценность мякоти тыквы обуславливают прежде всего каротиноиды, содержание которых является одним из основных показателей функциональных свойств пищевых продуктов. Известно, что максимальным содержанием каротиноидов отличаются мускатные сорта тыквы («Чудо-юдо», «Жемчужина» и «Красавица» и др.) – от 6,9 до 11,9 мг/100 г в пересчете на β-каротин [7]. Так как исследуемые сорта относятся к крупноплодной, успешно возделываемые в условиях Среднего Урала, то содержание каротина составило от 1,67 мг/100 г до 1,98 мг/100 г. Содержание еще одного эндогенного антиоксиданта и синергиста каротина – аскорбиновой кислоты, составило от 8,65 мг/100 г до 14,20 мг/100 г, что хорошо согласуется с литературными данными [20, 21].

Таблица 1 – Химический состав мякоти образцов тыквы (n=3, M±m)

Показатель	«Россиянка»	«Улыбка»	«Оранжевая кустовая»
М.д. растворимых сухих веществ, %	8,15±0,80	9,16±0,80	11,60±0,80
М.д. редуцирующих сахаров, %	5,42±0,40	6,16±0,40	7,40±0,40
Титруемая кислотность (на яблочную), ммоль Н ⁺ на 100 г продукта	0,10±0,02	0,11±0,02	0,10±0,02
Содержание каротина (выраженное через β-каротин, мг/100 г)	1,67±0,10	1,70±0,10	1,98 ±0,10
М.д. аскорбиновой кислоты, мг/100 г	8,65±0,80	11,40±0,80	14,20±1,00
Содержание железа, мг/100 г (в расчете на сухое вещество)	0,62±0,01	0,55±0,01	0,34±0,01
Содержание магния, мг/100 г (в расчете на сухое вещество)	14,22±1,50	23,50±1,50	17,89±1,50
Содержание кальция, мг/100 г (в расчете на сухое вещество)	22,20±2,50	34,20±2,50	27,60±2,50

Как показала серия опытов по порированию свежей мякоти, несмотря на высокую степень измельчения мякоти тыквы ручным блендером с насадкой «нож» продукт остается с гетерогенной структурой, расслаиваясь на жидкую фракцию и твердые частицы, не образуя гомогената. Полученные образцы пюре представляют собой пульпу с выраженными привкусами овощей и крахмала.

Оценка органолептических показателей опытных образцов пюре показала, что бланширование нарезанной мякоти в течение 10 мин при T=100°C позволяет получать тыквенное пюре с равномерной и гомогенной консистенцией без кусочков мякоти и прожилок, характерных для свежей тыквы, устранить крахмалистость вкуса, однако во вкусе появляется выраженный тон вареных овощей, снижающий органолептическое восприятие тыквенного пюре. Кроме того, обработка высокой температурой снижает пищевую и биологическую ценность мякоти тыквы за счет вымывания минералов и разрушения термолабильных аскорбиновой кислоты и каротина, что показано в эксперименте (табл. 2). Из представленных в таблице 2 данных видно, что содержание аскорбиновой кислоты снижается на 64,3–77,9%, каротина – на 21,8–25,3%, таким образом, становится практически невозможным использование тыквенного пюре полученного способом бланширования для производства продуктов питания с высокой биологической ценностью. Надо сказать, что в условиях производства возможно бланширование мякоти паром для исключения снижения содержания сухих веществ, с целью размягчения консистенции и разрушения клеточных мембран, а также сохранения нативных БАВ [22, 23].

Далее при получении опытных образцов пюре осуществляли ферментативное расщепление крахмала ферментным препаратом *Termamil SC*.

Таблица 2 – Химический состав опытных и контрольных образцов пюре тыквы

Показатель	Химический состав пюре тыквы, полученных с предварительным бланшированием (опыт) (n=3, M±m)						Химический состав пюре тыквы, полученных обработкой ферментным препаратом (контроль) (n=3, M±m)					
	Сорт тыквы						Сорт тыквы					
	«Россиянка»		«Улыбка»		«Оранжевая кустовая»		Грибовская		Алтайская кустовая		Зимняя сладкая	
	факт	% деград.	факт	% деград.	факт	% деград.	факт	% деград.	факт	% деград.	факт	% деград.
М.д. растворимых сухих веществ, %	7,48±0,80	- 8,22	7,98±0,80	- 12,88	10,16±0,80	- 12,41	9,23±0,80	+ 13,2	10,47±0,80	+ 14,3	12,38±0,80	+ 6,7
М.д. редуцирующих сахаров, %	6,69±0,40	+ 2,4	6,48±0,40	+ 5,2	7,62±0,40	+ 3,0	5,84±0,40	+ 7,7	6,94±0,40	+ 12,7	7,73±0,40	+ 4,5
Титруемая кислотность (на яблочную), ммоль Н ⁺ на 100 г продукта	0,07±0,02	- 27,0	0,08±0,02	- 30,0	0,08±0,02	- 20,0	0,12±0,02	+ 18,2	0,12±0,02	+ 10,0	0,12±0,02	+ 18,4
Содержание каротина (выраженное через β-каротин, мг/100 г)	1,31±0,10	- 21,8	1,30±0,10	- 23,5	1,48±0,10	- 25,3	1,56±0,10	- 6,7	1,63±0,10	- 4,1	1,87±0,10	- 5,6
М.д. аскорбиновой кислоты, мг/100 г	1,91±0,80	- 77,9	3,69±0,80	- 67,6	5,07±0,80	- 64,3	6,24±0,80	- 27,9	9,20±0,80	- 19,3	10,55±0,80	- 25,7
Содержание железа, мг/100 г (в расчете на сухое вещество)	0,46±0,01	- 25,5	0,38±0,01	- 31,0	0,26±0,01	- 24,5	0,69±0,01	+ 7,8	0,63±0,01	+ 14,3	0,36±0,01	+ 6,1
Содержание магния, мг/100 г (в расчете на сухую массу)	12,02±1,5	- 15,5	19,86±1,5	- 8,5	16,00±1,5	- 10,6	15,88±1,5	+ 11,7	25,90±1,5	+ 10,2	32,56±1,5	+ 8,2
Содержание кальция, мг/100 г (в расчете на сухую массу)	14,40±2,5	- 35,0	23,60±2,5	- 31,1	20,80±2,5	- 24,6	25,37±2,5	+ 14,3	38,78±2,5	+ 13,4	30,86±2,5	+ 11,8

Учитывая отсутствие в препарате β -амилазной активности, необходимость в проведении мальтозной паузы при температуре 62–63°C отпадает.

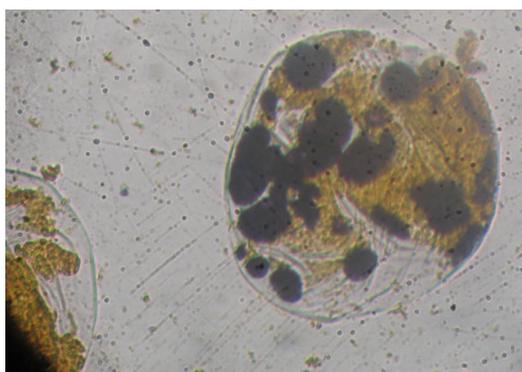
При оценке органолептических показателей контрольных образцов пюре установлено, что крахмалистый привкус практически неощутим, тон вареных овощей по сравнению с контрольными образцами, отсутствует, консистенция стала более однородной. Исследован состав контрольных образцов пюре (табл. 2).

Таким образом, для проведения гидролиза крахмала ферментный препарат вносили в количествах от 0,1 до 0,5% с равным интервалом концентраций и оценивали продолжительность гидролиза при температуре 75°C по йодной пробе через интервалы времени равные 5 минут. Йодную пробу подвергали микроскопированию для уточнения полноты гидролиза (табл. 3).

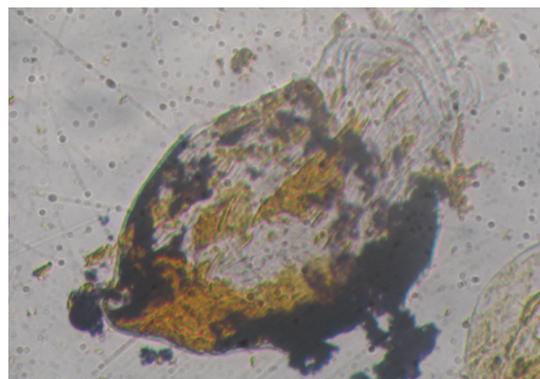
Таблица 3 – Результаты йодной пробы при осахаривании мякоти тыквы «Оранжевая кустовая»

Продолжительность осахаривания	Концентрация ферментного препарата Termamil SC				
	0,01 %	0,02%	0,03 %	0,04 %	0,05 %
5 мин	+	+	+	+	+
10 мин	+	+	+	+	+
15 мин	+	+	+	+	+
20 мин	+	+	+	+	+
25 мин	+	+	+	+	+
30 мин	+	+	+	+	+
35 мин	+	+	+	+	+
40 мин	+	+	+	+	+/-
45 мин	+	+	+	+/-	+/-
50 мин	+	+	+/-	-	-
55 мин	+	+	+/-	-	-
60 мин	+	+/-	-	-	-

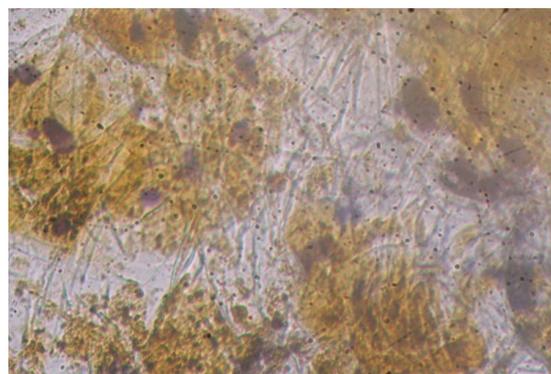
В эксперименте установлено, что мякоть тыквы плохо поддается ферментативному гидролизу α -амилазой. Так в опытах с концентрациями ферментного препарата 0,01 и 0,02% к массе сырья расщепления крахмала не наблюдалось. Максимальная глубина гидролиза была отмечен при использовании концентраций ферментного препарата 0,04 и 0,05% к массе тыквенной пульпы при длительности обработки 50 мин. По истечении этого времени пульпа приобрела более гомогенную консистенцию, с едва заметными отдельными крупинками. Возможно, это свидетельствует о неполном гидролизе крахмала, однако за счет удерживания гранул крахмала протопектиновым матриксом, доступ к ним ферментного препарата затруднен. Частично это можно подтвердить результатами микроскопирования при увеличении 600 крат, что показано на рисунке 1.



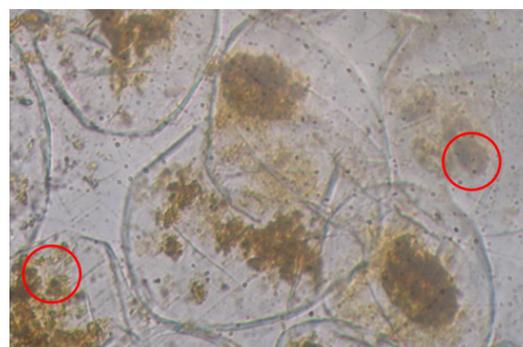
а) гранулы крахмала тыквы перед проведением ферментативной обработки



б) частичный гидролиз крахмальных гранул (20 мин, 0,04% ферментного препарата)



в) частичный гидролиз гранул крахмала под действием амилазы (40 мин, 0,04%)



г) клетки мякоти тыквы с растворенными зернами крахмала (заметны частично негидролизованные гранулы крахмала) (60 мин, 0,04% ферментного препарата)

Рисунок 1 – Микрофотографии, демонстрирующие ход гидролиза крахмальных зерен в мякоти тыквы «Оранжевая кустовая» при обработке ферментным препаратом Termamil SC

Потерю минеральных элементов при бланшировании можно объяснить явлением осмоса – ионы металлов при контакте клеточной стенки с водой переходят через нее в более разбавленный раствор, т.е. в воду. При ферментативной обработке, возможно, за счет разрушения крахмальных зерен происходит переход металлов из связанных состояний в свободное, но поскольку объем остается постоянным происходит их накопление.

Заключение. Из представленных данных можно видеть, что использование приема ферментативного гидролиза пюрированной мякоти тыквы позволяет повысить пищевую ценность, за счет увеличения содержания сахаров, биологическая ценность получаемого полуфабриката несколько снижается, однако сохранность аскорбиновой кислоты увеличивается в 2,5–3,5 раза, каротин – в 3,2–5,7 раза по сравнению с контрольными образцами пюре, полученными бланшированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беляев А.А. Разработка рецептуры и технологии сокодержавшего напитка на основе плодово-ягодного сырья Красноярского края и продукции пчеловодства / А.А. Беляев, Н.А. Величко, О.В. Иванова, И.А. Якоцу // Вестник КрасГАУ. 2017. №1. С. 125–131.
2. Terao J, Minami Y and Bando N. Singlet molecular oxygen-quenching activity of carotenoids: relevance to protection of the skin from photoaging // Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition. 2011. V. 48 P.57–62. doi: 10.3164/jcbrn.11-008FR.
3. Ramel F, Birtic S, Cuiñé S, Triantaphylidès C, Ravanat JL, Navaux M. Chemical quenching of singlet oxygen by carotenoids in plants. // Plant Physiol. 2012. 158(3). P. 1267-78. doi: 10.1104/pp.111.182394.
4. Kaur S., Panghal A., Garg M.K., Mann S., Khatka, S.K., Sharma P. and Chhikara N., Functional and nutraceutical properties of pumpkin – a review // Nutrition & Food Science. 2019. V. 50, no. 2. pp. 384-401. doi:10.1108/NFS-05-2019-0143
5. Завьялова Т.И., Костко И.Г. Биологическая ценность тыквы и продуктов ее переработки // Известия СПбГАУ. 2015. №39. С. 45-58;
6. Борисова А.В., Макарова Н.В. Экспериментальное определение физико-химических и антиоксидантных показателей четырех видов овощей // Техника и технология пищевых производств. 2012. №2 (25). С. 14А-19
7. Дейнека Л.А., Гостищев И.А., Дейнека В.И. и др. Исследование каротиноидного состава мякоти тыквы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 9. С. 131-136.
8. Кожухова М.А. Биотехнологические методы в производстве плодовоовощных соков и нектаров / М.А. Кожухова, А.Н. Теркун, С.Е. Рожков // Известия вузов. Пищевая технология. 2003. № 4. С. 5–9.
9. Способ производства овощного ферментированного напитка: пат. 2241356 Рос. Федерация № 2002129516/13; заявл. 04.11.2002; опубл. 10.12.2004. Бюл. № 34.
10. Кожухова М.А. Математическое обоснование режимов ферментативной обработки тыквы препаратом Fuctozum M / М.А. Кожухова, А.Н. Теркун, И.А. Крутлова // Известия вузов. Пищевая технология. 2003. № 1. С. 85–87.
11. Киселева Л.В. Биокатализаторы в технологии соков с мякотью и пюре / Л. В. Киселева, В. А. Ломачинский, О. А. Синецкая, А. П. Синецын // Пиво и напитки. 2009. № 2. С. 30–32.
12. Способ получения сокодержавшего напитка функционального назначения: пат. 2685944 Рос. Федерация №2018137152; заявл. 22.10.2018; опубл. 23.04.2019. Бюл. № 12.
13. Olga G Shkodina, Olga A Zeltser, Nikolai Yu Selivanov, Vladimir V Ignatov Enzymic extraction of pectin preparations from pumpkin // Food Hydrocolloids. 1998. V.12, Issue 3. P. 313-316. doi:/10.1016/S0268-005X(98)00020-4.
14. N.M. Ptichkina, O.A. Markina, G.N. Rumyantseva Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes // Food Hydrocolloids. 2008. Volume 22, Issue 1, P. 192-195.
15. Alexander V.Matora, Olga G.Shkodina, Dmitry A.Zhmerichkin, Natafya M.Ptichkina, Edwin R.Morris The application of bacterial enzymes for extraction of pectin from pumpkin and sugar beet // Food Hydrocolloids. 1995. Volume 9, Issue 1, P. 43-46. doi:10.1016/S0268-005X(09)80192-6.
16. M.Zh. Kizatova, G.K. Iskakova, S.T. Azimova, J.S. Nabeva, B.N. Alibaeva Establishment of mode parameters of extraction of pumpkin pectin-containing extract by enzyme method // Eurasian Journal of Biosciences. 2020. V.14. Issue 2. pp. 4261-4269.
17. Hao Wu, Junxiang Zhu, Wenchao Diao, Chengrong Wang Ultrasound-assisted enzymatic extraction and antioxidant activity of polysaccharides from pumpkin (Cucurbita moschata) // Carbohydrate Polymers. 2014. V. 113, 26. P. 314-324.
18. Shavakhi, F., Chai, K. F., & Ghazali, H. M. Enzymatic maceration and liquefaction of pumpkin (Cucurbita moschata L.) flesh for the preparation of a suitable base feed for spray drying // J Food Process Preserv. 2021. 45. e15075. doi:10.1111/jfpp.15075.
19. F Kormin, R A Sakinah, A C Iwansyah and A Hesan 2021 The effect of enzyme concentration on physical characteristics of pumpkin (Cucurbita moschata) puree and its dried extract // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 736, International Conference on Biodiversity 2020, 4 - 5 November 2020, Melaka, Malaysia Citation F Kormin et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 736 012031. doi:10.1088/1755-1315/736/1/012031.
20. Дейнека Л.А., Гостищев И.А., Дейнека В.И. и др. Исследование каротиноидного состава мякоти тыквы. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 9. С. 131-136.
21. Емельянов А. А., Кузнецова Е. А. Составляющие мякоти тыквы // Пиво и напитки. 2009. № 4. С. 40–43.
22. Самченко О.Н., Каленик Т.К., Вершинина А.Г. Использование тыквы при производстве мясных рубленых полуфабрикатов // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 2(25). С. 84–88.
23. Способ комплексной переработки тыквы: пат. 2476090 Рос. Федерация №2012100010/13; заявл. 10.01.2012 №; опубл. 27.02.2013. Бюл. № 6.
24. Irene Dini, Gian Carlo Tenore, Antonio Dini Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp // LWT - Food Science and Technology. 2013. V. 53, Issue 1, P. 382-385 doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.005

Статья поступила в редакцию 20.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 637.072

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0022

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕЛАТИНА ПОЛУЧЕННОГО
БИОКАТАЛИТИЧЕСКИМ И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫМ МЕТОДАМИ**

© 2021

Ворошилин Роман Алексеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры
Технологии продуктов питания животного происхождения
Кемеровский государственный университет
(650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: rom.vr.22@mail.ru)

Аннотация. В статье представлены исследования реологических характеристик желатиновых бульонов и гелей, полученных биокаталитическим и ультрафильтрационным методами. Желатиновое производство является перспективным направлением для развития внутреннего производственного потенциала и переработки малоценных продуктов мясной промышленности. Для исследований использовали желатин, полученный традиционным методом и методами биокатализа и ультрафильтрации. Используемые методы влияют на цвет желатина и позволяют получить более светлый желатин, который не будет изменять внешний вид и цвет структурируемого продукта. Из полученных результатов анализа вязкости заключили, что измеряемый показатель опытного образца снижается с 70 сПз до 55 сПз, при этом значения вязкости контрольного образца снижались с 60 сПз до 45 сПз, измерения проводились в течение 30 минут. Полученные данные свидетельствуют о структурных перестройках в опытном образце желатина, что повлияло на повышение вязкости образцов 5%-го раствора желатина. Также наблюдается влияние способа производства желатина на гелеобразующую способность полученных гелей. Из результатов полученных данных можно сделать вывод, что при заданной температуре 4 ± 2 °C момент застывания желатинового раствора полученного биокаталитическим и ультрафильтрационным методами наступает через 19 минут, что на 3 минут быстрее по сравнению с раствором желатина, который был получен традиционным методом. Опытные образцы обладали прочностью геля на $18 \pm 0,5$ Блюм выше, по сравнению с контрольным образцом. Можно предположить, что на исследуемые показатели повлияла массовая доля белка в исследуемых образцах желатина.

Ключевые слова: желатин, желатиновый гель, желатиновый бульон, ультрафильтрация, биополимер, реология.

**RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GELATIN OBTAINED
BY BIOCATALYTIC AND ULTRAFILTRATION METHODS**

© 2021

Voroshilin Roman Alekseevich, candidate of Technical Sciences, senior Lecturer of the
Department of Food Technology of Animal Origin
Kemerovo State University
(650000, Kemerovo, Krasnaya st., 6, e-mail: rom.vr.22@mail.ru)

Abstract. The article presents studies of the rheological characteristics of gelatin broths and gels obtained by biocatalytic and ultrafiltration methods. Gelatin production is a promising area for the development of domestic production potential and processing of low-value products of the meat industry. For research, we used gelatin obtained by the traditional method and by methods of biocatalysis and ultrafiltration. The methods used affect the color of the gelatin and produce a lighter gelatin that will not change the appearance and color of the structured product. From the results of the analysis of the viscosity, it was concluded that the measured indicator of the test sample decreases from 70 cP to 55 cP, while the viscosity of the control sample decreased from 60 cP to 45 cP, measurements were carried out within 30 minutes. The data obtained indicate structural rearrangements in the experimental sample of gelatin, which influenced the increase in the viscosity of the samples of 5% gelatin solution. The effect of the gelatin production method on the gelling ability of the resulting gels is also observed. From the results of the data obtained, it can be concluded that at a given temperature of 4 ± 2 °C, the moment of solidification of the gelatin solution obtained by the biocatalytic and ultrafiltration methods occurs in 19 minutes, which is 3 minutes faster than the gelatin solution, which was obtained by the traditional method. The experimental samples had a gel strength 18 ± 0.5 Bloom higher than the control sample. It can be assumed that the studied parameters were influenced by the mass fraction of protein in the studied samples of gelatin.

Keywords: gelatin, gelatin gel, gelatin broth, ultrafiltration, biopolymer, rheology.

Введение. Желатин — это вязкоупругий биополимер, состоящий из белков и пептидов, которые образуются в результате гидролиза коллагена. Коллаген получают из побочных продуктов животного происхождения, таких как кожа и кости животных. Кроме того, пептиды и белки, входящие в состав желатина,

также могут быть экстрагированы из морских водорослей или бактерий, что приводит к получению гелеобразующих альтернатив животного происхождения [1-5].

Желатин имеет уникальные функциональные и технологические свойства, в связи с чем является

ценным сырьем для производства продуктов питания (кондитерские изделия, пищевые добавки), косметики (кремы, лосьоны, маски для лица) и фармацевтических продуктов (оболочки капсул), который действует как гелеобразующий, связывающий, покрывающий, стабилизирующий и глазирующий агент [6]. Из-за большой потребности в желатине на современном пищевом, косметическом и фармакологическом рынках, необходимо уделять большое внимание поиску эффективных и экологически безопасных методов производства костного желатина.

Эффективность преобразования коллагена в желатин зависит от условий экстракции (температуры, времени и pH), концентрирования, качества сырья и его предварительной обработки, которые, как известно, влияют на свойства желатина. Применение химических растворителей для экстракции желатина может привести к более высокому выходу наряду с большим количеством низкомолекулярных белковых фрагментов, что отразится на свойствах геля: сила геля, температура плавления и др. [7-11].

Очень важно оптимизировать условия экстракции желатина и способ его концентрации, так как от этих параметров зависит качество, в том числе реологические, готового продукта, в связи с чем необходимо изучить влияние определенных технологических операций на реологические свойства желатина [12-16]. В последнее время среди всех существующих технологий получения желатина, использование биотехнологических процессов вызывает значительный интерес, так как данные процессы являются более безопасной альтернативой химическим методам получения желатина.

После стадии экстракции разбавленные растворы желатина концентрируют и фильтруют. Традиционный метод концентрирования – испарение желатиновых бульонов. Традиционный метод имеет некоторые недостатки, такие как потребление большого количества энергии, выброс углеводородов в атмосферу [17]. При производстве желатина требуются большие тепловые энергозатраты, так как классическая технология предполагает отделение влаги, поэтому возникла потребность в изучении повышения эффективности производства желатина с использованием баромембранных технологий и ультраfiltrации [18,19]. Оптимальной ресурсосберегающей технологией является ультраfiltrация, которая применяется на этапе концентрирования желатиновых бульонов. Ультраfiltrационные установки имеют ряд преимуществ для производства пищевых продуктов, один из основных – снижение количества вакуум-выпарных аппаратов, за счет применения ультраfiltrационных установок, которые в свою очередь удаляют большую часть свободной влаги из желатинового бульона [20].

Целью исследований является изучение реологических характеристик желатиновых бульонов и гелей, полученных биокаталитическим и ультраfiltrационными методами.

Материалы и методы исследований. Для про-

ведения исследований использовали образцы желатиновых бульонов, полученные методом биокаталитической мацерации костей КРС (под воздействием кислот и ферментных препаратов). В качестве контроля использовали желатин, полученный традиционным методом [21]. Для концентрирования опытных образцов желатиновых бульонов использовали ультраfiltrационную установку МФУ-Р-45-300. В процессе filtration контролируемое давление находилось в пределах 3,0 Бар, с перепадом в напорном и возвратном коллекторе не более 0,2 – 0,5 кгс/см². Сушку фильтрованных желатиновых бульонов проводили на лабораторной распылительной сушке модели *Mini Spray Dryer B-290 (Buchi, Sweden)* при температуре 95 оС и скорости подачи раствора в распылительную камеру 3,0 – 3,2 мл/мин. Массовую долю белка определяли на дегисторе термическом *FOSS Tecator Digester 2520*. Вязкость полученных желатинов определяли на ротационном вискозиметре *Haake VT500*, при температуре проведения исследований 23°С. Активную кислотность (величину *pH*) измеряли портативным *pH*-метром модели *Testo 206-pH2*. Гелеобразующую способность сухих бульонов определяли по – ГОСТ 33692-2015. Прочность студня по Блюму определяли на анализаторе текстуры «*Структурометр СТ-2*» в комплектации с индентором «*Блюма*» (СТ-2.26.00.000 СБ). 7,5г желатина помещали в стакан с холодной водой (105мл) и выдерживали смесь при температуре не более 22°С, в течение 180 мин. Далее набухший желатин подогревали в водяной бане до температуры 60°С и перемешивали его в течение 15 мин до полного растворения. Приготовленный раствор желатина (концентрацией 6,67%) переливали в специальный калиброванный стакан и в течение 17ч выдерживали при температуре 10°С ± 0,1°С.

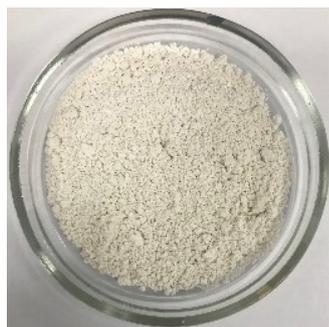
Экспериментальные исследования проводились на базе кафедры технологии продуктов питания животного происхождения и НИИ Биотехнологии Кемеровского государственного университета.

Результаты исследований. На первом этапе исследований проводили концентрирование желатиновых бульонов, полученных биокаталитическим методом (при воздействии кислот и ферментных препаратов) до содержания сухих веществ в растворах не менее 20%. Для концентрирования опытных образцов желатиновых бульонов использовали ультраfiltrационную установку МФУ-Р-45-300. Данная мембранная filtrationная система «МФУ-Р» предназначена для filtration различных растворов. Она позволяет получать концентраты или фильтраты растворов, отделяя молекулы различных размеров, в зависимости от установленных мембран. Используемая в исследованиях установка оснащена полимерными filtrationными рулонными элементами, размеры пор которых от 5 до 100 кДа.

Далее проводили распылительную сушку полученных желатиновых бульонов на лабораторной распылительной сушке модели *Mini Spray Dryer B-290 (Buchi, Sweden)*.



а. контрольный образец



б. опытный образец

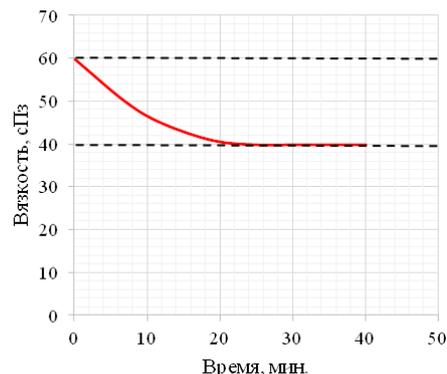
Рисунок 1 – Образцы желатина, полученные распылительной сушкой

На рисунке 1 представлены образцы желатина, полученные методом распылительной сушки, где видно, что после распылительной сушки полученные образцы отличаются по цвету, контрольный образец желатина имеет более темный оттенок серого цвета, при этом опытный образец желатина имеет цвет приближенный к белому, из этого можно заключить, что применяемые методы влияют на цвет желатина. Биокаталитический и ультрафильтрационные методы позволяют получить более светлый желатин, что является признаком высокого качества продукта, так как структурируемый продукт не будет изменять цвет. Желатин с менее выраженным цветом обычно имеет более высокую температуру плавления и точку гелеобразования, и соответственно более короткое время гелеобразования в конечном продукте, также имеет более нейтральный запах и вкус. Более сильная желеобразующая способность также означает, что требуется меньшее количество желатина для достижения желаемой плотности геля в готовом продукте.

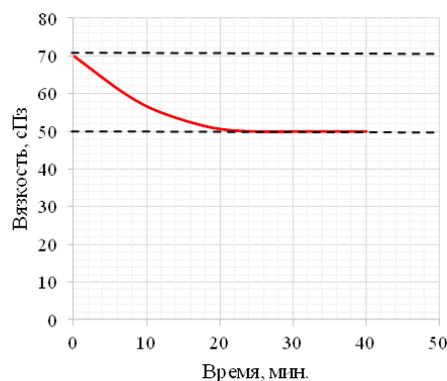
Далее проводили исследование реологических характеристик концентрированных образцов желатина.

С целью исследования влияния рассматриваемых методов при производстве желатина на вязкость желатиновых гелей проводили испытания при нейтральной (7,0 рН) среде. Для измерения зависимости реологических свойств опытного и контрольного образцов желатина использовали 5%-й раствор желатина, имеющий температуру 23°C. Образцы желатина подвергались сдвигу в пространстве между плоскостью и конусом.

На рисунке 2 представлены результаты динамики измерения вязкости опытного и контрольного образцов 5%-ых растворов желатина.



а. контрольный образец



б. опытный образец

Рисунок 2 – Динамика изменения вязкости желатиновых растворов

Из результатов, представленных на рисунке 2 видно, что вязкость опытного образца снижается с 70 сПз до 55 сПз, при этом значения вязкости контрольного образца снижались с 60 сПз до 45 сПз, измерения проводились в течении 30 минут. Полученные данные свидетельствуют о структурных перестройках в опытном образце желатина, что повлияло на повышение вязкости образцов 5%-го раствора желатина. Увеличение измеряемого показателя вязкости в анализируемом растворе желатина опытного образца свидетельствует об упрочнении в нём структуры полимерной матрицы, которая способствует удержанию влаги внутри белкового матрикса и, соответственно, способствует увеличению вязкости исследуемого раствора.

Далее проводили определение массовой доли белка, гелеобразующей способности и прочности исследуемых студней по Блюму (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели массовой доли белка, гелеобразующей способности и прочности геля образцов желатина

Показатель	Контрольный образец	Опытный образец
Массовая доля белка, %	84,6±0,1	89,5±0,2
Время гелеобразования, мин	22±0,2	19±0,3
Прочность геля, Блюм	185±0,5	203±0,5

Способ производства желатина влияет на гелеобразующую способность полученных гелей. Из результатов полученных данных можно сделать вывод, что при заданной температуре 4±2°C момент застывания желатинового раствора полученного биокаталитическим и ультрафильтрационным методом наступа-

ет через 19 минут, что на 3 мин быстрее по сравнению с контрольным образцом раствора желатина. Можно предположить, что на данный показатель повлияли показатели содержания массовой доли белка в исследуемых образцах желатина. Показатель прочности геля также имеет зависимость от содержания белка в полученных образцах желатина, об этом свидетельствуют полученные результаты, прочность геля контрольного образца была на уровне $185 \pm 0,5$ Блюм, при этом прочность геля опытного образца составляла $203 \pm 0,5$ Блюм.

Заключение. Представленные результаты исследований могут свидетельствовать об эффективности применения биокаталитической обработки и ультрафильтрации при производстве желатина. Ультрафильтрация способствует эффективному концентрированию желатиновых бульонов. Используемые методы влияют на цвет желатина и позволяют получить более светлый желатин, что является признаком высокого качества продукта. Полученные данные изменения вязкости свидетельствуют о структурных перестройках в опытном образце желатина, что повлияло на повышение вязкости опытных образцов 5%-го раствора желатина до 70 сПз. Увеличение измеряемого показателя вязкости в анализируемом растворе желатина опытного образца свидетельствует об упрочнении в нём структуры полимерной матрицы. Результаты реологических характеристик свидетельствуют о значительном влиянии ультрафильтрации при оптимальных параметрах на показатели гелеобразования и прочности геля. Момент застывания желатинового раствора полученного из опытного образца желатина наступает через 19 минут, что на 3 минут быстрее по сравнению с контрольным раствором желатина. Опытные образцы обладали прочностью геля на $18 \pm 0,5$ Блюм выше, по сравнению с контрольным образцом, значение данного показателя находилось на уровне $203 \pm 0,5$ Блюм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Sulaiman, M. Characteristics and Gel Properties of Gelatin from Goat Skin as Influenced by Alkaline-pretreatment Conditions / M. Sulaiman, B. Soottawat, P. Thummanoon, S. Maqsood // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS). – 2016. – Vol. 29(6). – PP. 845-854. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0784>
2. Derkach, S.R. Tailoring Cod Gelatin Structure and Physical Properties with Acid and Alkaline Extraction / S.R. Derkach, Y.A. Kuchina, A.V. Baryshnikov, D.S. Kolotova, N.G. Voron'ko // Polymers. – 2019. – Vol. 11, № 10. – PP. 1724-1743.
3. Просеков А.Ю. Производство желатина - состояние и перспективы рынка, альтернативные источники, технологии производства / А.Ю. Просеков, Р.А. Ворошилин // Все о мясе. – 2020. – № 5S. – С. 265.
4. Ahmed, M. Extraction and characterization of gelatin from camel skin (potential halal gelatin) and production of gelatin nanoparticles / M. Ahmed, H. Al-Kahtani, I. Jaswir and all. // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2020. – Vol. 27. – PP. 1596-1601.
5. Просеков А.Ю. Исследование пробных партий растительного аналога фармацевтического желатина и капсул из него в части физико-химических показателей / А.Ю. Просеков, Е.В. Ульрих, О.О. Бабич, О.В. Королева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 539.
6. Rohman A. Review on analytical methods for analysis of porcine gelatine in food and pharmaceutical products for halal authentication / A. Rohman, A. Windarsih, Y. Erwanto, Z. Zakaria // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Vol. 101. – PP.

122-124.

7. Аскарова Р.Н. Обзор современного состояния организации производства желатина / Р.Н. Аскарова, Г.А. Аминова // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. – 2020. – С. 15-17.
8. Santana, J.C. Valorization of Chicken Feet By-Product of the Poultry Industry: High Qualities of Gelatin and Biofilm from Extraction of Collagen / J.C. Santana, R.B. Gardim, P.F. Almeida, G.B. Borini, A.P. Quispe, Llanos and all // Polymers. – 2020. – Vol. 12. – PP. 529.
9. Кучина Ю.А. Влияние условий экстракции на физико-химические свойства рыбной желатины / Ю.А. Кучина, С.Р. Деркач // Наука и образование-2018. – 2019. – С. 261-263.
10. Сафонова М.А. Основные виды желатина и его применение в пищевой промышленности / М.А. Сафонова, Д.С. Антонова // Вестник магистратуры. – 2017. – №. 11-2. – С. 19.
11. Sha X.M. Effect of extraction temperature on the gelling properties and identification of porcine gelatin / X.M. Sha, Z.Z. Hu, Y.H. Ye, H. Xu, Z.C. Tu // Food Hydrocolloids. – 2019. – T. 92. – С. 163-172.
12. Goudoulas T.B. Phase transition kinetics and rheology of gelatin-alginate mixtures / T.B. Goudoulas, N. Germann // Food Hydrocolloids. – 2017. – T. 66. – С. 49-53.
13. Бугаец Н.А. Влияние pH среды на структурно-реологические свойства растворов структурообразователей полисахаридной и белковой природы / Н.А. Бугаец, М.Ю. Тамова, И.А. Бугаец // Новые технологии. – 2012. – №. 2. – С. 35.
14. Netter A.B. Effects of Bloom number on phase transition of gelatin determined by means of rheological characterization / A.B. Netter, T.B. Goudoulas, N. Germann // LWT. – 2020. – T. 132. – С. 109813.
15. Park H.E. Effect of temperature on gelation and cross-linking of gelatin methacryloyl for biomedical applications / H.E. Park, N. Gasek, J. Hwang, D.J. Weiss, P.C. Lee // Physics of Fluids. – 2020. – T. 32. – №. 3. – С. 033102.
16. Якубова О.С. Обоснование регламентируемых показателей качества пищевого рыбного желатина / О.С. Якубова, А.А. Бекешева // Food industry. – 2018. – Т. 3. – №. 4. – С. 60-64.
17. Simon A. Concentration and desalination of fish gelatin by ultrafiltration and continuous diafiltration processes / A. Simon, L. Vandanjon, Guy. Levesque, P. Bourseau // Desalination. – 2002. – №144. PP. 313-318.
18. Ворошилин, Р. А. Баромембранные технологии как способ оптимизации технологического процесса производства желатина / Р. А. Ворошилин, А. Ю. Просеков // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты : Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик, – 2021. – С. 38-40.
19. Челноков В.В. Всемирный рынок мембранных технологий / Челноков В.В., Михайлов А.В., Заболотная Е. // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – №3. – С. 59-61
20. Дымар О.В. Повышение качества и энергетической эффективности изготовления желатина при помощи мембранных технологий / О.В. Дымар, Т.И. Дымар, М.Р. Яковлева // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2020. – №1. – С.12-19.
21. Джафаров, А.Ф. Производство желатина [Текст] / А. Ф. Джафаров. - М.: Агропромиздат, – 1990. – 287 с.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4).

Статья поступила в редакцию 24.05.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 663.031.2/.4

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0023

ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ С РАЗЛИЧНОЙ СУБСТРАТНОЙ СПЕЦИФИЧНОСТЬЮ НА ГИДРОЛИЗ ЛУЗГИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

© 2021

Фоменко Иван Андреевич, аспирант*Московский государственный университет пищевых производств
(125080, Россия, Москва, Волоколамское ш., д. 11, e-mail: iv.fomenko@mail.ru)*

Аннотация. В статье представлено исследование влияния ферментных препаратов с различной субстратной специфичностью на гидролиз лузги семян подсолнечника. Лузга подсолнечника является трудноутилизуемым отходом масличных производств ввиду ее химического состава и непригодности для сельскохозяйственных животных. По различным оценкам в России в год образуется около 200 тыс. т в год этого отхода. Перспективным решением в вопросе ее утилизации может быть микробная биоконверсия, осуществимая при участии дрожжей. Кормовой белок является очень востребованным продуктом для сельского хозяйства. Дрожжи способны эффективно утилизировать сбраживаемые сахара, накапливая при этом до 60% сырого протеина и витаминов, однако дрожжевые культуры обладают слабой способностью к синтезу целлюлолитических ферментов и не способны самостоятельно гидролизовать полимеры лузги подсолнечника. Гидролиз с использованием коммерческих ферментных препаратов с различной субстратной специфичностью является исходной стадией получения полноценного кормового белка. В работе представлены результаты гидролиза измельченной подсолнечной лузги с применением ферментных препаратов компании *Novozymes* (*Celluclast 1,5 L FG* (целлюлаза), *Shearzyme Plus 2X PDS* (целлюлаза и ксиланаза), *Viscoferm HT FG* (целлюлаза), *Viscozyme Wheat HT* (ксиланаза), *Ultraflo XL* (целлюлаза)). Для каждого ферментного препарата проведено исследование количества образующихся редуцирующих веществ в процессе 24-часового гидролиза при оптимальных условиях и различных дозировках. В работе доказана целесообразность использования комплексного ферментного препарата *Shearzyme Plus 2X PDS*, обладающего целлюлазной и ксиланазной активностями (670 Ед.ЦЛС/г, 4800 Ед.КС/г). При 24-часовом гидролизе 10% суспензии измельченной лузги подсолнечника при температуре 50°C, pH 5,0 и дозировке 120 Ед.ЦЛС/г субстрата, образуется 2,8% восстанавливающих сахаров. Полученный гидролизат может быть использован для культивирования кормовых дрожжей.

Ключевые слова: лузга подсолнечника, гидролиз, ферменты, субстратная специфичность, целлюлаза, ксиланаза, биоконверсия.

INFLUENCE OF ENZYME PREPARATIONS WITH DIFFERENT SUBSTRATE SPECIFICITY ON HYDROLYSIS OF SUNFLOWER HUSK

© 2021

Fomenko Ivan Andreevich, graduate student*Moscow State University of Food Production
(125080, Russia, Moscow, Volokolamskoe highway, 11, e-mail: iv.fomenko@mail.ru)*

Abstract. The article presents a study of the effect of enzyme preparations with different substrate specificity on the hydrolysis of sunflower seed husks. Sunflower husk is a hard-to-use waste from oilseeds; according to various estimates, about 200 thousand tons of this waste are generated in Russia per year. A promising solution to the issue of its utilization can be microbial bioconversion, which is carried out with the participation of yeast. Fodder protein is a highly demanded product for agriculture. Yeast is able to efficiently utilize fermentable sugars, while accumulating up to 60% of crude protein and vitamins; however, yeast cultures have a weak ability to synthesize cellulolytic enzymes and are not able to independently hydrolyze polymers of sunflower husk. Hydrolysis using commercial enzyme preparations with different substrate specificities is the initial stage of obtaining a complete feed protein. The paper presents the results of hydrolysis of crushed sunflower husk using enzyme preparations from *Novozymes* (*Celluclast 1.5 L FG* (cellulase), *Shearzyme Plus 2X PDS* (cellulase and xylanase), *Viscoferm HT FG* (cellulase), *Viscozyme Ultraat HT* (xylanase), *XL* (cellulase)). For each enzyme preparation, a study of the amount of forming reducing substances in the course of 24-hour hydrolysis was carried out under optimal conditions and various dosages. The work proved the feasibility of using the complex enzyme preparation *Shearzyme Plus 2X PDS*, which has cellulase and xylanase activities (670 U. CLS / g, 4800 U.C./g). With a 24-hour hydrolysis of a 10% suspension of crushed sunflower husk at a temperature of 50 ° C, pH 5.0 and a dosage of 120 U CLS / g of substrate, 2.8% of reducing sugars are formed. The resulting hydrolyzate can be used for the cultivation of feed yeast.

Keywords: sunflower husk, hydrolysis, enzymes, substrate specificity, cellulase, xylanase, bioconversion.

Введение. Одной из проблем российских маслопрессовых заводов, является необходимость утилизации лузги семян подсолнечника. В зависимости от сорта масличной культуры лузжистость семени может

достигать 23% от массы неочищенного семени [9]. Одно предприятие ежедневно перерабатывает около 150 т семян подсолнечника, при этом образуется порядка 30 т лузги. Утилизация такого количества отхо-

да требует больших материальных затрат со стороны предприятия, что как следствие неблагоприятно сказывается на стоимости подсолнечного масла [5].

На сегодняшний день предложено несколько способов использования лузги подсолнечника, однако их эффективность достаточно мала. Лузгу в измельченном виде предложено использовать в качестве кормовой добавки в животноводстве [3]. Она содержит пентозаны, однако перевариваемость лузги достаточно низка, составляет порядка 20 – 30%, поэтому заменить ей большую часть ежедневного рациона животного не получится [8].

Применение подсолнечной лузги в качестве удобрения возможно только после ее предварительного компостирования, использование этого целлюлозного отхода может нанести вред, когда почва бедна азотистыми соединениями. Мульча из лузги в зимнее время привлекает грызунов, которые наносят вред корневым системам растений и уничтожают посевы.

Лузга подсолнечника богата целлюлозой, лигнином и гемицеллюлозой, они составляют 79 – 90 % от ее состава. Остальные 10% АСВ представлены липидами, восками, протеином и минералами [1]. По другим - подсолнечная лузга содержит 32,3% целлюлозы, от 24,8% до 29,6% лигнина, 26,8% гемицеллюлозы, 1,3% жирных масел, 1,8% азота, 4,6% минеральных элементов и около 1,4% устойчивого пигмента фитомеланина [6, 7]. Благодаря своему составу подсолнечную лузгу уже используют как сырье для получения кормовых дрожжей, для получения фурфурола [2, 16], брикетируется для сжигания [8].

Оптимальным способом утилизации подсолнечной лузги является получение биогаза и пеллетирование. Однако таким способом возможно переработать только 30% образующегося отхода [9]. Предприятия по выработке биогаза или изготовлению пеллет должны располагаться в непосредственной близости от масличного производства, так как транспортировать лузгу очень дорого из-за ее низкой насыпной плотности (120 кг/м³) [17, 19].

Перспективным методом утилизации подсолнечной лузги может быть ее биоконверсия в высокобелковые дрожжевые препараты кормового назначения. Мицелиальные грибы способны утилизировать негидролизованную целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин, содержащиеся в лузге. Грибная биоконверсия имеет ряд недостатков: низкое накопление белка, низкая скорость удвоения биомассы. Эти недостатки нивелируются при дрожжевой биоконверсии, однако дрожжи не способны эффективно утилизировать полимеры лузги. Дрожжи способны утилизировать простые сахара, образующиеся в процессе гидролиза.

Гидролиз целлюлозосодержащего сырья осуществляется в присутствии ферментов с различной субстратной специфичностью. Лузга подсолнечника содержит в себе большое количество целлюлозы и гемицеллюлозы, поэтому целесообразно использовать ферментные препараты преобладающей целлюлазной и ксиланазной активностью [13, 14, 20].

Первой стадией начала действия фермента является стадия их адсорбции на поверхности нерастворимого субстрата. Скорость адсорбции ферментов выше скорости гидролиза, и перенос ферментов к поверхности субстрата нельзя назвать лимитирующим фактором процесса расщепления нерастворимого субстрата [15, 18]. Скорость гидролиза будет напрямую зависеть от площади поверхности частиц измельченной лузги. Эффективность гидролиза полисахаридного субстрата зависит от двух факторов: качественного и количественного [21]. К первому относятся сбалансированность состава ферментного комплекса, ко второму – уровень активности компонентов [10-12].

Целью настоящей работы являлся подбор ферментного препарата для эффективного гидролиза лузги семян подсолнечника.

Материалы и методы исследования. В качестве исходного сырья использовали лузгу подсолнечника, образующуюся на масличном производстве ООО «Бунге СНГ».

В качестве ферментных препаратов использовали коммерческие препараты Novozymes, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика коммерческих ферментных препаратов, использованных в работе

Наименование препарата	Ферментативная активность		Температурный диапазон	Диапазон pH
	ЦлС (Ед/г) по ГОСТ Р 55293-2012	КС (Ед/г) по ГОСТ Р 55302-2021		
Celluclast 1,5 L FG	780	–	50 – 60 °С	4,5 – 6,0
Shearzyme Plus 2X PDS	670	4800	40 – 65 °С	4,5 – 6,0
Viscoferm HT FG	550	–	40 – 70 °С	4,0 – 6,0
Viscozyme Wheat HT	–	9250	50 – 60 °С	4,5 – 6,0
Ultraflo XL	620	–	40 – 70 °С	4,0 – 6,0

С целью повышения площади гидролизуемой поверхности, подсолнечную лузгу измельчали на роторной ударной мельнице *Retsch SR 200* до размера частиц не более 150 мкм.

Лигнин является ингибитором целлюлаз и ксиланаз, поэтому целесообразно провести щелочную делигнификацию, для этого измельченную лузгу суспендировали при гидромодуле 1:9, в качестве дисперсной среды использовали 3% раствор гидроксида натрия. Процесс делигнификации проводили при нагревании суспензии до 120°С с последующей выдержкой в течение 1 ч. Об эффективности процесса делигнификации судили по изменению числа Каппа (ГОСТ 10070-74).

Ферментативный гидролиз 10% суспензии измельченной лузги в водопроводной воде вели в колбах Эрленмейера объемом 250 см³ на термостатируемой качалке с частотой оборотов 200 мин⁻¹. Температура и значение pH устанавливалось в зависимости от оптимального значения для конкретного ферментного препарата. Для установления оптимального значения pH суспензии использовали 10% раствор гидроксида

нтария и 10% раствор серной кислоты. Длительность ферментализации – 20 ч.

В полученных ферментализатах определяли количество растворенных сухих веществ (СВ) весовым методом и количество редуцирующих веществ (РВ) методом Бертрана-Шоорля.

Результаты исследования. Ферментативный гидролиз подсолнечной лузги ферментом *Celluclast 1,5 L FG* вели при температуре 55°C и pH 5,0. Ведущая активность у данного ферментного препарата – целлюлолитическая. Дозировку варьировали от 30 до 150 Ед.ЦлС на 1 г АСВ лузги. Данные об образовании РВ в процессе гидролиза представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание РВ (%) в ферментализате, полученном при участии ФП *Celluclast 1,5 L FG*

Время гидролиза, ч	Дозировка ФП <i>Celluclast 1,5 L FG</i> , Ед.ЦлС/г субстрата				
	150	120	90	60	30
1	1,3	1,1	0,85	0,55	0,4
2	1,55	1,4	1,1	0,75	0,6
4	1,9	1,8	1,3	0,95	0,8
8	2,25	2,2	1,5	1,05	0,9
16	2,5	2,4	1,65	1,15	1
24	2,55	2,5	1,7	1,2	1,1

Наибольшее количество редуцирующих веществ наблюдается при дозировке ФП 120 Ед.ЦлС/г субстрата и составляет 2,5% при длительности взаимодействия – 24 ч.

Ферментом с ведущей ксиланазной активностью является *Viscozyme Wheat HT*. Гидролиз измельченной подсолнечной лузги вели при температуре 50°C и pH 5,0. Дозировку ФП вели по ксиланазной активности и варьировали от 1800 до 750 Ед.КлС/г субстрата. Данные о накоплении РВ в процессе гидролиза представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание РВ (%) в ферментализате лузги, полученном при участии ФП *Viscozyme Wheat HT* (температура 50 °С, pH 5,0)

Время гидролиза, ч	Дозировка ФП <i>Viscozyme Wheat HT</i> , Ед.КлС/г субстрата			
	1800	1500	1100	750
1	0,4	0,2	0,15	0,1
2	0,65	0,5	0,4	0,3
4	1	0,9	0,6	0,5
8	1,35	1,3	0,8	0,6
16	1,6	1,55	0,95	0,7
24	1,65	1,65	1	0,75

Применение ФП с ведущей ксиланазной активностью позволяет получить меньшее количество РВ, чем при использовании ФП с ведущей целлюлолитической активностью. Наибольшая активность получена при 24-х часовом гидролизе с дозировкой фермента 1500 Ед.КлС/г субстрата (1,65% РВ).

Ферментный препарат *Shearzyme Plus 2X PDS* является комплексным и обладает высокой целлюлолитической (670 Ед.ЦлС/г) и умеренной ксиланазной активностью (4800 Ед.КлС/г). Данный ФП характеризуется высокой активностью в широком диапазоне pH среды от 4,5 до 6,0 и температуры – 40 – 65°C. Данные о накоплении РВ в процессе гидролиза ФП *Shearzyme Plus 2X PDS* представлены в таблице 4. Дозировку ФП осуществляли по целлюлолитической активности и варьиро-

вали в диапазоне от 150 до 30 Ед.ЦлС/г субстрата.

Таблица 4 – Содержание РВ (%) в ферментализате, полученном при участии ФП *Shearzyme Plus 2X PDS* (температура 50 °С, pH 5,0)

Время гидролиза, ч	Дозировка ФП <i>Shearzyme Plus 2X PDS</i> , Ед.ЦлС/г субстрата				
	150	120	90	60	30
1	1,4	1,25	1,1	0,7	0,4
2	1,8	1,65	1,4	1,1	0,6
4	2,2	2,1	1,65	1,35	0,8
8	2,4	2,35	1,9	1,6	0,9
16	2,6	2,65	2,2	1,8	1
24	2,8	2,8	2,4	1,95	1,1

Наибольшее накопление РВ составляет 2,8%. Данное количество восстанавливающих сахаров образуется в течение 24 ч гидролиза с дозировкой ФП *Shearzyme Plus 2X PDS* в количестве 120 Ед.ЦлС/г субстрата, при этом дозировка по ксиланазной активности составляет 750 Ед.КлС/г субстрата. Комплексный ферментный препарат *Shearzyme Plus 2X PDS*, включающий в себя целлюлазу и протеазу показал наибольший эффект по накоплению редуцирующих веществ, чем *Celluclast 1,5 L FG* и *Viscozyme Wheat HT*.

Характеристика ферментализата, получаемого с помощью комплексного ФП *Shearzyme Plus 2X PDS*: содержание сухих веществ – 6,8%, редуцирующих веществ – 2,6% из них глюкоза – 76,7%, целлюлоза – 10,5%, высшие сахара – 12,8%. Соотношение сахаров установлено с помощью ВЭЖХ.

Так же был проведен гидролиз с двумя термолабильными целлюлазами *Viscoferm HT FG* и *Ultraflo XL* их активность составляет 550 Ед.ЦлС/г и 670 Ед.ЦлС/г соответственно. Данные ФП сохраняют высокую активность в широком диапазоне pH (4,0 – 6,0) и температуре (40 – 70°C). Дозировка данных ФП составляла 120 Ед.ЦлС/г субстрата, данные о накоплении РВ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Содержание РВ (%) в ферментализате, полученном при участии ФП *Viscoferm HT FG* и *Ultraflo XL* (температура 50°C, pH 5,0)

Время гидролиза, ч	<i>Viscoferm HT FG</i> 120 Ед.ЦлС/г субстрата	<i>Ultraflo XL</i> 120 Ед.ЦлС/г субстрата
1	1,05	0,9
2	1,45	1,2
4	1,9	1,45
8	2,15	1,7
16	2,45	2
24	2,6	2,2

По данным таблицы видно, что скорость накопления РВ в процессе гидролиз при участии ФП *Viscoferm HT FG* выше, чем при использовании ФП *Ultraflo XL* 120. За 24 ч гидролиза образовалось 2,6 и 2,2% редуцирующих веществ соответственно.

Заключение. В ходе исследования влияния ферментных препаратов с различной субстратной специфичностью на гидролиз измельченной подсолнечной лузги, показано, что целесообразно использовать комплексный ФП *Shearzyme Plus 2X PDS*, обладающий целлюлолитической и ксиланазной активностями (670 Ед.ЦлС/г, 4800 Ед.КлС/г). При 24 часовом гидролизе

при температуре 50°C, pH 5,0 и дозировке ФП 120 Ед. ЦлС/г субстрата образуется 2,8% восстанавливающих сахаров. Полученный гидролизат может быть использован для культивирования кормовых дрожжей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Евтушенко С.Л. Влияние качественных показателей сырья и технологического процесса на содержание протеина в семенах подсолнечника и продуктах его переработки // Вестник национального технического университета "ХПИ". Сборник научных трудов. – 2008. – №3. – С. 89-97.
2. Клещевников Л.И., Логинова И.В., Харина М.В., Емельянов В.М. Методы получения фурфурола и его применение // Вестник технологического университета. – 2015. – № 18(19). – С. 95-101.
3. Коротков В.Г., Соловых С.Ю. Кишкилев С.В., Антимонов С.В. Получение кормовых экструдатов на основе подсолнечной лузги // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – №18. – С. 124-131.
4. Масютин Я.А., Литвин А.А., Новиков А.А., Винокуров В.А. Исследование влияния различных методов предобработки целлюлозосодержащего сырья на его физико-химические свойства // Actualscience. – 2016. – № 12. – С. 221-223.
5. Рязанова О.А. Классификация растительных масел // Масложировая промышленность. – 2014. – № 1. – С. 25-29.
6. Хусид С.Б., Гиеуш А. Н., Нестеренко Е.Е. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 142-155.
7. Чепчак Т.П., Олишевская С.В., Курченко И.Н. Целлюлозолитическая активность штаммов *Fenellia Flavipes* и *Fusarium oxysporum* // Микробиологический журнал. – 2013. – Т. 72. – № 6. – С. 51-58.
8. Шаяхметова А.Х., Тимербаева А.Л., Сафина А.В. Лузга подсолнечника и отходы деревообработки как альтернативное биотопливо // Деревообрабатывающая промышленность. – 2015. – № 2. – С. 41-45.
9. Шмидт К.М., Худайгулов Г.Г. Выделение новых штаммов-деструкторов целлюлозы, их роль в снижении антропогенной нагрузки на экосистему // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4. – №4. – С. 54-63
10. Abdel-Azeem A. M., Gherbawy Y. A., Sabry A. M. Enzyme profiles and genotyping of *Chaetomium globosum* isolates from various substrates // Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. – 2019. – Т. 150. – № 3. – С. 420-428.
11. Cejas L, Romano N, Moretti A, Mobili P, Golowczyc M, Gómez-Zavaglia A. Malt sprout, an underused beer by-product with promising potential for the growth and dehydration of lactobacilli strains // Food Sci Technol. – 2017. – № 54(13).
12. Hendriks A.T.W.M. and Zeeman G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass // Bioresource Technology. – 2019. – № 1. С. 10–18
13. Jorgensen H., Olsson L. Production of cellulases by *Penicillium brasilianum* IBT 20888—Effect of substrate on hydrolytic performance // Enzyme and Microbial Technology. – 2016. – № 3. – С. 381-390.
14. Karnaouri A. et al. Genomic insights into the fungal lignocellulolytic system of *Myceliophthora thermophila* // Frontiers in microbiology. – 2014. – Т. 5. – С. 281.
15. Novotný Č. et al. *Irpex lacteus*, a white-rot fungus with biotechnological potential // Folia Microbiologica. – 2009. – Т. 54. – №. 5. – С. 375-390.
16. Panagiotou G., Kekos D., Macris B.J., Christakopoulos P. Production of cellulolytic and xylanolytic enzymes by *Fusarium oxysporum* grown on corn stover in solid state fermentation // Industrial Crops and Products. – 2003. – № 1. – С. 37-45.
17. Rosgaard L. et al. Evaluation of minimal *Trichoderma reesei* cellulase mixtures on differently pretreated barley straw substrates // Biotechnology progress. – 2007. – Т. 23. – №. 6. – С. 1270-1276.
18. Shulin Chen, Xiaoyu Zhang, Deepak Singh et al. Biological pretreatment of lignocellulosics: potential, progress and challenges // Biofuels. – 2010. – № 1. – С. 177–199
19. Vries R.P., Visser J. *Aspergillus* Enzymes Involved in Degradation of Plant Cell Wall Polysaccharides // American Society for Microbiology. – 2001. – № 4. – С. 497-522.
20. Xu F., Chen H.-Z., Li Z.-H. Effect of periodically dynamic changes of air on cellulase production in solid-state fermentation // Enzyme and Microbial Technology. – 2002. – № 1. – С. 45-48.
21. Ye Sun, Jiayang Cheng. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review // Bioresource Technology. – 2002. – № 1. – С. 1-11.

Статья поступила в редакцию 23.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 635.62:664.8.047

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0024

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СУШКИ НА СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ
В ТЫКВЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТАХ**

©2021

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 настоящее время все больше потребителей осознают важность питания и проявляют потенциальный интерес к пищевым продуктам с пользой для здоровья. Значительно увеличился интерес к сырью растительного происхождения с высоким содержанием каротиноидов, одновременно обладающих активностью провитамина А и антиоксидантными свойствами. Плоды тыквы и продукты их переработки являются источниками каротиноидов, которые придают им красивую оранжевую окраску и формируют их антиоксидантные свойства. Сушеные тыквенные полуфабрикаты могут использоваться как ингредиенты многокомпонентных сухих завтраков и зерновых батончиков. В работе представлены результаты исследований суммарного количества каротиноидов, β -каротина и ликопина в тыкве сортов «*Баттернат*» и «*Волжская серая*» и в тыквенных полуфабрикатах, высушенных при разных температурных режимах. Экспериментально установлено, что для производства сушеных полуфабрикатов из тыквы целесообразно использовать сушку при температуре + 60°C, что сокращает ее продолжительность и деградацию каротиноидов под действием кислорода воздуха по сравнению с сушкой при температуре + 40°C. В результате потери суммы каротиноидов не превышают 19%, β -каротина и ликопина – 20%. Сушеные полуфабрикаты из тыквы сортов «*Баттернат*» и «*Волжская серая*» содержат, мг / 100 г: сумму каротиноидов 18,52 и 33,15; β -каротина – 11,42 и 23,0; ликопина – 0,63 и 1,45, соответственно.

Ключевые слова: тыква, сушка, сушеный тыквенный полуфабрикат, каротиноиды, β -каротин, ликопин.

**INFLUENCE OF DRYING REGIMES ON THE CONTENT OF CAROTENOIDS IN PUMPKIN
SEMI-FINISHED PRODUCTS**

©2021

Nilova Liudmila Pavlovna, PhD of Engineering, associate professor at the Graduate School of Service and Trade**Malyutenkova Svetlana Michailovna**, PhD of Engineering,

associate Professor at the Graduate School of Service and Trade

*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. More and more consumers are now realizing the importance of nutrition and are showing potential interest in foods with health benefits. There has been a significant increase in interest in raw materials of plant origin with a high content of carotenoids, which simultaneously have the activity of provitamin A and antioxidant properties. Pumpkin and their processed products are sources of carotenoids, which give them their beautiful orange color and form their antioxidant properties. Dried pumpkin seeds can be used as an ingredient in multi-ingredient breakfast cereals and cereal bars. The paper presents the results of studies of the total amount of carotenoids, β -carotene and lycopene in pumpkin varieties «*Butternat*» and «*Volzhskaya gray*» and in pumpkin semi-finished products dried at different temperature conditions. It has been experimentally established that for the production of dried semi-finished products from pumpkin, it is advisable to use drying at a temperature of + 60°C, which reduces its duration and the degradation of carotenoids under the influence of air oxygen compared to drying at a temperature of + 40°C. As a result, the total loss of carotenoids does not exceed 19%, β -carotene and lycopene - 20%. Dried semi-finished products from pumpkin varieties «*Butternat*» and «*Volzhskaya gray*» contain, mg / 100 g: the amount of carotenoids 18.52 and 33.15; β -carotene - 11.42 and 23.0; lycopene - 0.63 and 1.45, respectively.

Keywords: pumpkin, drying, dried semi-finished product, carotenoids, β -carotene, lycopene.

Введение. В настоящее время все больше потребителей осознают важность питания и проявляют потенциальный интерес к пищевым продуктам с пользой для здоровья. В ответ на современный образ жизни рынок реагирует расширением ассортимента пищевых продуктов с натуральными ингредиентами без пищевых добавок.

В последние годы значительно увеличился интерес к сырью растительного происхождения с высоким

содержанием каротиноидов, одновременно обладающих активностью провитамина А и антиоксидантными свойствами [1-4]. Среди огромного разнообразия плодов и овощей, используемых в питании человека, плоды тыквы (*Cucurbita*) являются не только источником каротиноидов, но в составе большинства ее сортов преобладают каротины. При суммарном содержании каротиноидов – от 2,5 до 8,6 мг / 100 г [3, 5-7], на долю β -каротина приходится 55-79%, α -каро-

тина – 10-12%, ликопина – менее 5% [8-10]. В тыкве *Cucurbita moschata Duch*, произрастающей в южных регионах Бразилии, содержание суммы каротиноидов может достигать до 40 мг / 100 г, при этом количество каротинов превышает 50% с преобладанием β -каротина [11]. Но есть некоторые сорта тыквы вида *Cucurbita maxima*, суммарно содержащие больше лютеина и виалаксантина, чем β -каротина [12, 13]. Высокое содержание каротиноидов в сочетании с витамином С (4,8–13,7 мг / 100 г) позволяет использовать тыкву как ингредиент в пищевых продуктах для здорового питания [3, 5-7].

В пищевых технологиях используют, как мякоть тыквы, так кожуру и семена, подготовленные разными способами, стремясь максимально сохранить биологически активные вещества, включая каротиноиды [14-17]. Каротиноиды легко разрушаются под действием различных факторов: термической обработке, измельчении, под действием света и кислорода, но при этом увеличивается их биодоступность [1, 2, 7, 10]. При традиционных режимах сушки (70°C) потери каротиноидов достигают до 60%, а при изготовлении цукатов дополнительно увеличиваются на 10% [5]. Потери β -каротина при сушке ломтиков тыквы при температуре 65°C достигают до 60%, α -каротина и лютеина – до 67% [13]. Дифференциация температуры сушки от 55 до 70°C может изменить содержание каротиноидов в тыквенных полуфабрикатах почти в два раза [18]. Необходимость гомогенизации тыквы в процессе производства пищевых продуктов приводит к большим потерям каротиноидов при термической обработке, причем способствуют большему разрушению ксантофиллов, чем каротинов [7]. Для сокращения потерь каротиноидов предложено использовать кратковременную дотермическую обработку или предварительную обработку ультразвуком [18-20]. Возможно замедление деградации каротиноидов тыквы при использовании покрытия из нативного и модифицированного кукурузного крахмала, что предотвращает потери транс α - и транс β -каротинов на 11-19% [21]. Но пищевые производства ограничены в своих возможностях проведения дополнительных технологических операций и могут только регулировать режим сушки.

Цель работы – исследование влияния режимов сушки на содержание каротиноидов в тыквенных полуфабрикатах для использования их в качестве функциональных ингредиентов в составе многокомпонентных сухих завтраков и зерновых батончиков.

Материалы и методы исследований. Для получения тыквенных полуфабрикатов использовали мякоть тыквы двух ботанических сортов «Баттернат» и «Волжская серая». Плоды тыквы были приобретены в розничной торговле в мае месяце текущего года. Плоды тыквы были нарезаны на ломтики размером 0,5-0,8 см по ребру. Сушку ломтиков тыквы осуществляли при двух температурных режимах: + 40°C и + 60°C в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией воздуха в течение 4,5 и 3-х часов, соответственно, до влажности полуфабриката приближенной к 20%. Предварительный эксперимент с использованием

мякоти сорта «Волжская серая» позволил установить продолжительность сушки, которая была использована для сушки двух сортов тыквы.

В образцах сырой тыквы и тыквенных полуфабрикатах после сушки контролировали массовую долю влаги, сумму каротиноидов, содержание β -каротина и ликопина. Массовую долю влаги определяли методом высушивания до постоянной массы при температуре 100°C и атмосферном давлении навески предварительно измельченной тыквы или тыквенного полуфабриката. Для определения суммы каротиноидов и содержания β -каротина и ликопина использовали гексановые извлечения 1 г измельченного образца (сырой тыквы или сушеного полуфабриката). Методом прямой спектрофотометрии на спектрофотометре «UNICO-2800», США, были получены электронные спектры гексановых извлечений. Сумму каротиноидов определяли исходя из значений оптической плотности гексановых извлечений при длине волны 450 нм [22, 23]. Содержание β -каротина определяли как разницу между значениями оптической плотности при длинах волн 451 и 503 нм с учетом коэффициентов 462 и 309, соответственно; содержание ликопина – как разницу между значениями оптической плотности при длинах волн 503 и 451 нм с учетом коэффициентов 395 и 80,5, соответственно [24].

Результаты исследований. Исследуемые образцы тыквы характеризовались более высоким количеством сухих веществ по сравнению со свежей тыквой сразу после сбора урожая и, соответственно, меньшей массовой долей влаги, которая составляла 52,5 и 60,2% для сортов «Баттернат» и «Волжская серая». На момент исследований с момента сбора урожая предположительно прошло 8 месяцев. Даже через 6 месяцев хранения потеря массы тыквы в зависимости от ботанического сорта могут составлять 9-27%, что приводит к возрастанию сухих веществ до 17,5%, деградации аскорбиновой кислоты до 10% и незначительному увеличению суммарных каротиноидов [6].

Мякоть плодов тыквы в зависимости от ботанического сорта различалась суммарным количеством каротиноидов почти в 1,6 раза (табл. 1), что отражалось на их органолептических показателях.

Таблица 1 – Содержание каротиноидов в мякоти плодов тыквы

Сорт тыквы	Каротиноиды, мг / 100 г		
	суммарное количество	β -каротин	ликопин
Баттернат	12,85 ± 0,58	8,05 ± 0,40	0,44 ± 0,02
Волжская серая	20,15 ± 0,82	14,18 ± 0,62	0,82 ± 0,02

Наиболее ярко оранжевый цвет имела мякоть тыквы «Волжская серая». Различия в содержании β -каротина между сортами тыквы были еще более выражены – в 1,76 раза. Хотя содержание β -каротина в зависимости от вида и сорта тыквы может различаться до 2,5 раз [25]. На долю β -каротина приходилось 62,6 и 70,0%, соответственно для мякоти сортов тыквы «Баттернат» и «Волжская серая». Содержание ликопина было незначительным и не превысило 4%, что согласуется с литературными данными [8].

Полученные тыквенные полуфабрикаты в виде сушеных ломтиков мякоти тыквы имели красивый внешний вид оранжевой окраски, более выраженный в ломтиках тыквы «Волжская серая» и более яркий, чем в сырых ломтиках мякоти. Ломтики тыквы имели легко разжевывающуюся консистенцию, несмотря на их разную влажность. Массовая доля влаги сушеных тыквенных полуфабрикатов зависела, как от исходной влажности мякоти сырой тыквы, так и от температуры сушки. Более низкая температура сушки привела к

необходимости использования более длительного временного периода. Через 4,5 часа сушки при температуре + 40°C массовая доля влаги в ломтиках тыквы сорта «Баттернат» составляла 19,9%, а сорта «Волжская серая» – 21,5% (табл. 2). Температура сушки + 60°C привела к сокращению ее продолжительности до 3-х часов, при этом уменьшив массовую долю влаги в ломтиках на 4,4 и 2,8%, соответственно, для сортов «Баттернат» и «Волжская серая» по сравнению с другим режимом сушки.

Таблица 2 – Содержание каротиноидов в сушеных тыквенных полуфабрикатах

Сорт тыквы	Условия сушки		Массовая доля влаги, %	Содержание каротиноидов, мг / 100 г		
	температура, °C	время, часы		суммарное количество	β-каротин	ликопин
Баттернат	+ 40	4,5	19,90 ± 0,85	14,60 ± 0,60	8,91 ± 0,26	0,50 ± 0,02
	+ 60	3,0	15,50 ± 0,70	18,52 ± 0,65	11,42 ± 0,50	0,63 ± 0,02
Волжская серая	+ 40	4,5	21,47 ± 0,95	27,20 ± 0,90	18,69 ± 0,85	1,16 ± 0,05
	+ 60	3,0	18,70 ± 0,90	33,15 ± 1,10	23,00 ± 1,00	1,45 ± 0,05

Полученные сушеные тыквенные полуфабрикаты содержали в 100 г продукта больше суммарных и индивидуальных каротиноидов, чем в сыром продукте. Суммарное количество каротиноидов увеличилось на 13,6 и 44,0% для тыквенных полуфабрикатов сорта «Баттернат» и 35,0 и 64,5% – для сорта «Волжская серая», соответственно высушенных при температурах + 40 и + 60° С. Количество β-каротина увеличилось в меньшей степени – на 10,7 и 41,8% для тыквенных полуфабрикатов сорта «Баттернат», на 31,8 и 62,2% для сорта «Волжская серая», при аналогичных температурных режимах. Доля ликопина изменилась незначительно, не превысив 4% от суммарного количества каротиноидов. В зависимости от способа сушки количество каротиноидов может увеличиваться в разы, с четкой прослеживаемостью влияния температуры и продолжительности сушки [10].

Более высокое содержание каротиноидов в тыквенных полуфабрикатах обусловлено потерей массовой доли влаги при сушке. При пересчете их содержания на сухое вещество продукта в процессе сушки количество, как суммы каротиноидов, так и их индивидуальных представителей, уменьшалось (рис. 1).

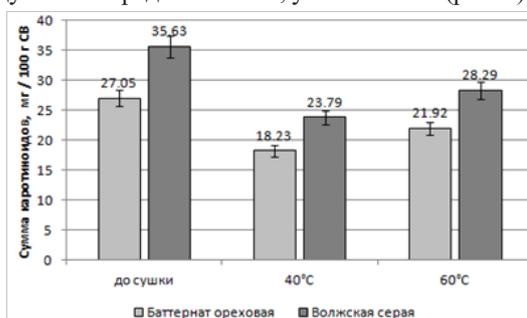


Рисунок 1 – Содержание суммарных каротиноидов в сырых ломтиках тыквы и тыквенных полуфабрикатах в пересчете на сухое вещество (СВ), высушенных при разных температурных режимах

Потери суммарного количества каротиноидов практически не зависели от сорта тыквы, но значительно отличались в зависимости от режима сушки. Так, при использовании одинаковых режимов сушки суммарное количество каротиноидов уменьшилось на 32,6 и 31,6% для сортов «Баттернат» и «Волжская

серая», соответственно, при температурном режиме + 40°C, и на 19,0 и 17,4% при температурном режиме + 60°C. Снижение температуры сушки до + 40°C увеличило потерю суммарных каротиноидов в 1,7 - 1,8 раз. По данным [5, 21, 25] в зависимости от сорта тыквы потери суммарных каротиноидов могут достигать до 62% при традиционной сушке + 70°C. Снижение температуры сушки до 50-60° С замедляют деградацию каротиноидов до 19% [25], но при температуре 50° С могут достигать до 23% [20].

Потери β-каротина были больше, чем суммарных каротиноидов, хотя незначительно, отличаясь в среднем на 2%, что связано с их преобладанием в исследуемых сортах тыквы и полуфабрикатов из них. При температуре сушки + 60°C деградация β-каротина составила около 20%, независимо от сорта тыквы. Снижение температуры сушки на 20°C, напротив, увеличивало деградацию β-каротина в 1,7 и 1,6 раз, соответственно для сортов «Баттернат» и «Волжская серая» (рис. 2).

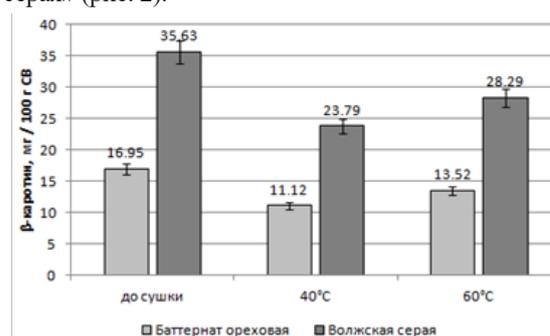


Рисунок 2 – Содержание β-каротина в сырых ломтиках тыквы и тыквенных полуфабрикатах в пересчете на сухое вещество (СВ), высушенных при разных температурных режимах

Причиной усиленной деградации суммарных каротиноидов и β-каротина при сушке при температуре 40-55°C, что показывают исследования многих авторов [7, 13, 18, 21], является аэрация кислородом в процессе сушки. Снижение температуры сушки приводит к большей длительности процесса, иногда достигающей 8,5 часов [10, 18]. Деградация ликопина в исследуемых образцах не изменила общего характера,

но в большей степени занимала промежуточной положение между изменениями в содержании суммы каротиноидов и β -каротина (рис. 3).

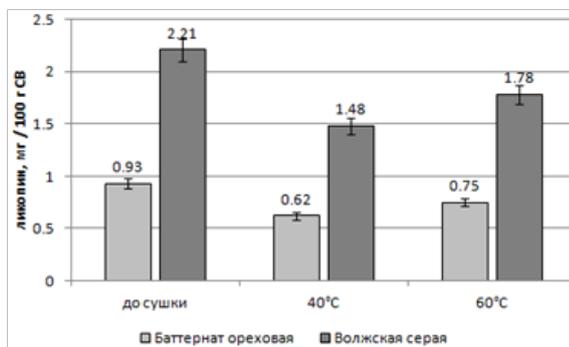


Рисунок 3 – Содержание ликопина в сырых ломтиках тыквы и тыквенных полуфабрикатах в пересчете на сухое вещество (СВ), высушенных при разных температурных режимах

Потери ликопина составляли около 33% при сушке тыквенных полуфабрикатов при температуре +40°C и были в среднем на уровне β -каротина, и уменьшались в процессе сушки при температуре +60°C. Влияние сорта тыквы на потери ликопина при том или ином режиме сушки не выявлено.

Заключение. Мякоть тыквы является источником каротиноидов, количество которых зависит от ботанического сорта: «Волжская серая» содержит 20,15 мг / 100 г, «Баттернат» – 12,85 мг / 100 г с преобладанием β -каротина, доля которого составляет 62,6 и 70,0%, соответственно. Количество ликопина незначительно и его доля не превышает 4%.

Для производства тыквенных полуфабрикатов целесообразно использовать сушку при температуре + 60°C, которая сокращает ее продолжительность и деградацию каротиноидов под действием кислорода воздуха. Потери суммы каротиноидов при данном режиме сушки не превышают 19%, β -каротина и ликопина – 20%. Тыквенные полуфабрикаты из тыквы сортов «Баттернат» и «Волжская серая», высушенные при температуре + 60°C, содержат, мг / 100 г: сумму каротиноидов 18,52 и 33,15; β -каротина – 11,42 и 23,0; ликопина – 0,63 и 1,45, соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дадали В.А., Тутельян В.А., Дадали Ю.В., Кравченко Л.В. Каротиноиды: биодоступность, биотрансформация, антиоксидантные свойства // Вопросы питания. 2010. Т. 79. № 2. С. 4-18.
2. Rodriguez-Amaya D.B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains // Food Research International. 2019. № 124. P. 200-205.
3. Quijano-Ortega N., Fuenmayor C.A., Zuluaga-Dominguez C., Diaz-Moreno C., Ortiz-Grisales S., Garcia-Mahecha M., Grassi S. FTIR-ATR Spectroscopy Combined with Multivariate Regression Modeling as a Preliminary Approach for Carotenoids Determination in Cucurbita spp. // Appl. Sci. 2020. №10. № 3722-3732.
4. Нилова Л.П., Малютенкова С.М. Антиоксидантные комплексы облепихи крушиновидной (*Hipporhaë rhamnoides* L.) северо-запада России // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 108-114.
5. Завьялова Т.И., Костко И.Г. Биологическая ценность тыквы и продуктов ее переработки // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 45-58.
6. Рядинская А.А., Мезинова К.В. Изменение качества свежей тыквы при хранении // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 1. С. 245-252.

7. Provesi Jo.G., Dias C. O., Amante E. R. Changes in carotenoids during processing and storage of pumpkin puree, // Food Chemistry. 2011. № 128. P. 195-202.
8. Seo Ju.S., Burri B.Ja., Quan Zh., Neidlinger T.R. Extraction and chromatography of carotenoids from pumpkin // Journal of Chromatography A. 2005. № 1073. P. 371-375.
9. Kurz Ch., Carle R., Schieber A. HPLC-DAD-MSn characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity // Food Chemistry. 2008. № 110. P. 522-530.
10. Tarwaca S.N., Karyadi J.N.W., Nugraheni N.F., Indrasari Y.P., Albyan R., Setiyadi I., Ayumi D. Effect of various drying methods on the physicochemical characteristics of pumpkin powder // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 644. 012080.
11. de Carvalho L.M.Ja., Gomes P.B., de Oliveira Godoy R.L., Pacheco S., do Monte P.H.F., de Carvalho J.L.V., Nutti M. R., Neves A.C.L., Vieira A.C.R., Ramos S.R.R. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study // Food Research International. 2012. № 47. P. 337-340.
12. Rodriguez-Amaya D.B., Kimura M., Godoy H.T., Amaya-Farfan J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition // Journal of Food Composition and Analysis. 2008. № 21. P. 445-463.
13. Piyarach K., Nipawan K., Chadapon Ch., Daluwan S., Kunjana R. Effect of Drying on β -Carotene, α -Carotene, Lutein and Zeaxanthin Content in Vegetables and Its Application for Vegetable Seasoning // E3S Web of Conferences. 2020. № 141. 02007.
14. Федорова Р.А. Качественная оценка биологической ценности тыквы при использовании в перерабатывающем производстве // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 59. С. 22-26.
15. Табаторович А.Н. Исследование химического состава и качества полуфабрикатов из тыквы для кондитерского производства // Индустрия питания. 2018. Т. 3. № 1. С. 11-19.
16. Staichok A.C.B., Mendonca K.R.B., Alves dos Santos P.G., Garcia L.G.C., Damiani C. Pumpkin Peel Flour (*Cucurbita maxima* L.) – Characterization and Technological Applicability // Journal of Food and Nutrition Research. 2016. № 4(5). P. 327-333.
17. Lyu Yi., Bi Ji., Chen Q., Wu X., Qiao Ye., Hou H., Zhang X. Bioaccessibility of carotenoids and antioxidant capacity of seed-used pumpkin byproducts powders as affected by particle size and corn oil during in vitro digestion process // Food Chemistry. 2021. № 343. 128541.
18. Márquez-Cardozo C.J., Caballero-Gutiérrez B.L., Ciro-Velázquez H.J., Restrepo-Molina D.A. Effect of pretreatment and temperature on the drying kinetics and physicochemical and techno-functional characteristics of pumpkin (*Cucurbita maxima*) // Heliyon. 2021. № 7. e06802.
19. Rawson A., Tiwari B.K., Tuohy M.G., O'Donnell C.P., Brunton N. Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs // Ultrasonics Sonochemistry. 2011. № 18. P. 1172-1179.
20. Rojas M.L., Silveira I., Augusto P.E.D. Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin // Food and Bioprocess Processing. 2020. № 119. P. 20-30.
21. Lago-Vanzela E.S., do Nascimento P., Fontes E.A.F., Mauro M.A., Kimura M. Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying // LWT - Food Science and Technology. 2013. № 50. P. 420-425.
22. Куркин В.А., Шарова О.В., Афанасьева П.В. Совершенствование методики количественного определения суммы каротиноидов в сырье «шиповника плодь» // Химия растительного сырья. 2020. № 3. С. 131-138.
23. Соловых Г.Н., Осинкина Т.В., Тихомирова Г.М., Кануникова Е.А., Фабарисова Л.Г., Ходячих И.Н. Исследование содержания пигментов в некоторых растениях семейства розовые (*Rosaceae*) // Оренбургский медицинский вестник. 2020. Т. 8. № 4. С. 46-50.
24. Karanja Ja. K., Mugendi B. J., Khamis F. M., Muchugi A.N. Nutritional Evaluation of Some Kenyan Pumpkins (*Cucurbita* spp.) // International Journal of Agriculture and Forestry. 2014. № 4(3). P. 195-200.
25. Дегтярева Е.А., Вишневецкая Л.И., Гарная С.В., Калько Е.А. Изучение влияния технологических факторов на выход липофильных веществ из растительного сырья тыквы // Химия растительного сырья. 2019. № 3. С. 299-305.

Статья поступила в редакцию 11.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 664.4

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0025

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА *SCHISANDRA CHINENSIS*

© 2021

Фролова Нина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент
Амурский государственный университет
(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Резниченко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Кемеровский государственный университет
(650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: Reznichenko@gmail.com)

Шкрабтак Наталья Викторовна, доктор технических наук, профессор
Амурский государственный университет
(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail: mmip@mail.ru)

Аннотация. Растение *Schisandra chinensis* относится к эндемикам Дальневосточного региона. Актуальность его использования в пищевой промышленности для предприятий Дальневосточного региона основана на территориальной доступности произрастания и уникальности содержания комплекса биологически активных веществ, обладающих антиоксидантным и тонизирующим действием. В статье проведен анализ содержания лигнанов экстрактов листьев, семян и плодов *Schisandra chinensis* при помощи системы высокоэффективной жидкостной хроматографии. Исследованы параметры антиоксидантной способности с помощью нескольких методов (TEAC, DPPH, HAPX, окисление липосом цитохромом c). В ходе исследований установлено, что семена *Schisandra chinensis* содержат большое количество схизандрола A, схизандрола B, схизандрин A, схизандрин B и схизандрин C. Плоды *Schisandra chinensis* обладают более сильной антиоксидантной способностью, чем листья *Schisandra chinensis*. Комплексное использование различных частей *Schisandra chinensis* является перспективным направлением пищевой и перерабатывающей промышленности, являясь индикатором для создания функциональных продуктов и фармакопейных препаратов.

Ключевые слова: лимонник китайский, исследование, лигнаны, антиоксидантная активность.

RESEARCH ON THE ANTIOXIDANT POTENTIAL OF *SCHISANDRA CHINENSIS*

© 2021

Frolova Nina Anatolyevna, candidate of technical sciences, associate professor
Amur State University
(675027, Russia, Blagoveshchensk, Ignatievskoe highway, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Reznichenko Irina Yurievna, doctor of technical sciences, professor
Kemerovo State University
(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya st., 6, e-mail: reznichenko@gmail.com)

Shkrabtak Natalia Viktorovna, doctor of technical sciences, professor
Amur State University
(675027, Russia, Blagoveshchensk, Ignatievskoe highway, 21, e-mail: mmip@mail.ru)

Abstract. The plant *Schisandra chinensis* is endemic to the Far Eastern region. The relevance of its use in the food industry for enterprises of the Far Eastern region is based on the territorial availability of growth and the unique content of a complex of biologically active substances that have an antioxidant and tonic effect. The article analyzes the lignans of extracts of leaves, seeds and fruits of *Schisandra chinensis* using a high-performance liquid chromatography system. The parameters of the antioxidant capacity were studied using several methods (TEAC, DPPH, HAPX, liposome oxidation with cytochromium c). In the course of research, it was found that the seeds of *Schisandra chinensis* contain a large amount of schizandrol A, schizandrol B, schizandrin A, schizandrin B and schizandrin C. The fruits of *Schisandra chinensis* have a stronger antioxidant capacity than the leaves of *Schisandra chinensis*. The combined use of various parts of *Schisandra chinensis* is a promising direction of the food and processing industry, being an indicator for the creation of functional products and pharmacopoeia preparations.

Keywords: chinese lemongrass, research, lignans, antioxidant activity.

Введение. Пропаганда здорового образа жизни и полноценное питание ежегодно становится объектом повышенного внимания для потребителей. Интерес к полезным продуктам питания является главным стимулом для производителя к внедрению технологий на основе натурального сырья. Использование растительного сырья в пищевых технологиях способствует повышению биологической ценности готовых изделий, приданию специфических вкусовых свойств и

исключению из рецептуры синтетических пищевых добавок [1].

Лимонник китайский *Turcz. (Baill.) (Schisandra chinensis)* произрастает в Северо-Восточном Китае, Японии, Корее, Маньчжурии и на Дальнем Востоке России. Его пурпурно-красные ягоды называют плодами с пятью ароматами из-за сладкого, горького, острого, соленого и кислого вкуса. *Schisandra chinensis* широко используется в качестве травяной

добавки в традиционной китайской медицине, тогда как в России - как мощный адаптоген, улучшающий устойчивость к болезням и стрессу, а также повышающий энергию, выносливость и физическая работоспособность [2-5].

Schisandra chinensis используется в качестве консерванта и добавки в пищевой промышленности для улучшения аромата, вкуса и питательной ценности пищи [6]. Полезен при лечении неврологических, сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных расстройств [7], плоды и семена стимулируют иммунитет, действуют как тонизирующее [8, 9].

Плоды *Schisandra chinensis* содержат около 1,5% сахаров (полисахариды и моносахариды: глюкоза, фруктоза, галактоза и арабиноза), дубильные вещества (гидролизуемые, например, сложные эфиры галловой кислоты, и конденсированные, например проантоцианидины и дубильные вещества катехолового типа), красящие вещества (в основном антоцианы) и около 3% эфирных масел, причем сесквитерпены являются преобладающими соединениями. α -бергамотен, β -хамигрен, β -химахален и иланген являются основными компонентами эфирных масел (около 75%), тогда как оксигенированные сесквитерпены, монотерпены и оксигенированные монотерпены составляют меньшую часть (около 5%) [10-14].

Химические исследования также выявили наличие в плодах *Schisandra chinensis* тритерпеноидов (тритерпеноиды и нортритерпеноиды ланостанового и циклоартанового ряда), органических кислот (винная, лимонная, яблочная, фумаровая), фенольных кислот (пара-гидроксibenзойная, сиригвая, пара-кумаровая и др.), флавоноиды (кверцетин, изокверцитрин, рутин и гиперозид), витамины C и E, фитостерины и биоэлементы (Cr, Cu, Co, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B, Ni) [15, 16]. Однако исследования химического состава *Schisandra chinensis* продолжают до сих пор [17-19].

Целью исследований является определение содержания лигнанов и параметров антиоксидантной способности спиртовых экстрактов листьев, семян и плодов *Schisandra chinensis*.

Объектами исследований явились листья, семена и плоды *Schisandra chinensis*, собранные на территории Амурской области в период 2017-2020 гг.,

Материалы и результаты исследований. Для определения содержания лигнанов экстрактов *Schisandra chinensis* использовали систему высокоэффективной жидкостной хроматографии Agilent 1100. Антиоксидантный потенциал экстрактов *S. chinensis* оценивали с помощью метода отбеливания DPPH, анализа эквивалентной антиоксидантной способности Trolox (TEAC), анализа ингибирования активности гемоглобина аскорбатпероксидазы (HAPX), ингибирования перекисного окисления липидов, катализируемого анализом цитохрома с и методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) с помощью спектроскопии.

Антиоксидантная активность растительного сырья является объектом изучения отечественных и зарубеж-

ных авторов. Уникальная способность антиоксидантов улавливать свободные радикалы и предотвращать перекисное окисление липидов, позволяет рассматривать их с точки зрения перспективных препаратов для предотвращения опухолевых заболеваний. Противоопухолевая активность *Schisandra chinensis* лигнаном снижается в присутствии гидроксильной группы в положении C₇, что приводит к повышенной гидрофильности и снижению проницаемости липидного бислоя, тогда как метилendioксигруппа между C₁₂ и C₁₃ усиливает противораковую активность [15]. Фрагмент 1,2,3-триметоксигруппы, 6-ацилокси-группа и отсутствие 7-гидроксигруппы приводят к ингибированию P-гликопротеина, а также к повышению противоопухолевой эффективности [16]. Экоциклическая метиленовая группа в структуре лигнана *Schisandra chinensis* необходима для антиоксидантной активности, которая еще больше усиливается в присутствии бензоилоксигруппы.

В ходе проведения исследований было определено содержание основных лигнанов дибензоциклооктадиенового типа (табл. 1): схизандрола A, схизандрола B (гомизин A), схизандрина A, схизандрина B, схизандрина C в 70% экстрактах листа, плодов и семян *S. Chinensis*, полученных при помощи экстрагирования в водноэтанольной смеси.

Таблица 1 – Лигнаны *Schisandra chinensis*, мг/мл

Экстракт	схизандрол А	схизандрол В	схизандрин А	схизандрин В	схизандрин С
Листьев <i>Schisandra chinensis</i>	0,84 ± 0,06	0,41 ± 0,02	0,78 ± 0,04	0,67 ± 0,01	0,19 ± 0,02
Семян <i>Schisandra chinensis</i>	23,5 ± 1,00	3,79 ± 0,41	4,12 ± 0,18	9,4 ± 0,49	1,62 ± 0,05
Плодов <i>Schisandra chinensis</i>	13,1 ± 0,49	2,12 ± 0,17	2,28 ± 0,11	5,98 ± 0,41	1,02 ± 0,01

Табличные данные свидетельствуют о высоком содержании схизандрола A, схизандрола B, схизандрина A, схизандрина B и схизандрина C в экстрактах из семян *Schisandra chinensis*.

Экстракт плодов по содержанию лигнанов уступает экстракту семян. В листьях содержится минимальное значение исследуемых лигнанов, поэтому перспективным с точки зрения богатого содержания лигнанов, является использование в пищевых технологиях семян *Schisandra chinensis*.

Исследование антиоксидантной способности экстрактов листьев и плодов *Schisandra chinensis* при помощи методов TEAC, DPPH и HAPX представлены на рисунках 1, 2.

Анализы DPPH и TEAC основаны на улавливании свободных радикалов за счет механизма переноса электронов. Ферментативный антиоксидантный анализ (HAPX) измеряет способность активных соединений экстракта гасить повреждение гемоглобина перекисью водорода. HAPX подразумевает взаимо-

действие между молекулами антиоксидантов с белком, разновидностями феррильного гемоглобина в результате действия перекиси водорода на гемоглобин железа.

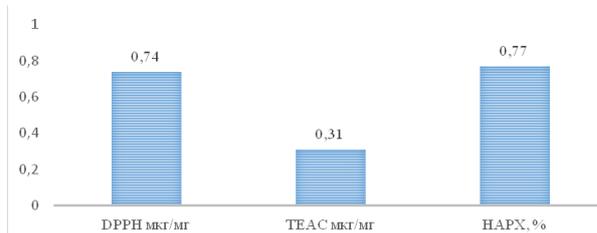


Рисунок 1 – Параметры антиоксидантной способности экстрактов из листьев *Schisandra chinensis*, полученные несколькими методами

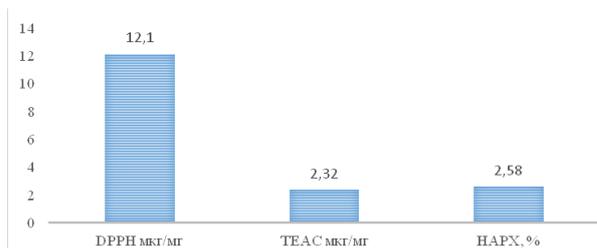


Рисунок 2 – Параметры антиоксидантной способности экстрактов из плодов *Schisandra chinensis*, полученные несколькими методами

Антиоксидантная способность DPPH выражена в виде эквивалентов кверцетина ($R^2 = 0,998$). Анализ полученных данных свидетельствует о более низкой антиоксидантной способности листьев *Schisandra chinensis* по сравнению с плодами.

Для оценки антиоксидантной активности спиртовых экстрактов был использован также метод, основанный на пероксидазной активности цитохрома с (рис. 3).

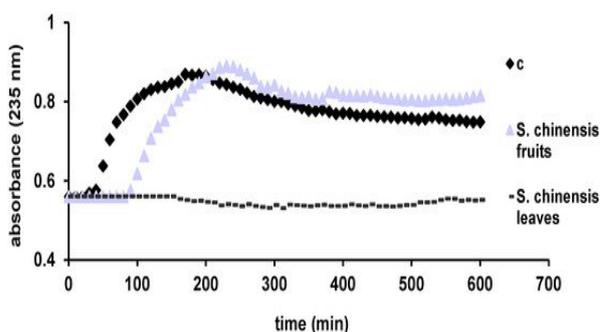


Рисунок 3 – Окисление липосом цитохромом с в экстрактах из листьев и плодов *Schisandra chinensis*

Окисление липосом цитохромом с в экстрактах из листьев и плодов *Schisandra chinensis* контролирует образование диенов, конъюгированных с липидами. С увеличением концентрации флавоноидов увеличивается ингибирование перекисного окисления липидов. Следовательно, оба экстракта продемонстрировали корреляцию с результатами DPPH и высокую антиоксидантную активность, однако экстракт листьев *S. chinensis* проявил более сильную антиоксидантную, чем экстракт плодов *S. Chinensis* (экстракт

плодов задерживал перекисное окисление липидов в течение 90 мин, а как экстракт листьев полностью блокировал процесс в течение всего эксперимента - 600 мин.).

Заключение. Результаты проведенных исследований позволили установить, что *Schisandra chinensis* обладает сильным антиоксидантным потенциалом. Высокое содержание схизандрола А, схизандрола В, схизандрин А, схизандрин В и схизандрин С отмечено в экстрактах из семян *Schisandra chinensis*. Результаты, полученные с помощью анализа DPPH, также показали, что экстракт листьев обладает более низкой антиоксидантной активностью, чем экстракт плодов.

При исследовании окисления липосом цитохромом с установлено, что экстракт образца листьев *S. chinensis* имеет более высокую антиоксидантную способность, чем образец плодов. Таким образом, комплексное использование различных частей *Schisandra chinensis* является перспективным направлением пищевой и перерабатывающей промышленности, являясь индикатором для создания функциональных продуктов и фармакопейных препаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Карташова Н.В., Самылина И.А., Стреляева А.В., Бобкова Н.В., Кузнецов Р.М. Исследование химического состава настойки семян лимонника китайского (*Schisandra chinensis* baill.) с помощью метода хромато-масс-спектрометрии // Биофармацевтический журнал. – 2019. – Т. 11. – № 6. С. 25-27.
2. Карташова Н.В., Самылина И.А., Стреляева А.В., Кузнецов Р.М. Изучение химического состава эфирного масла, полученного из лекарственного растительного сырья семян лимонника китайского (*Schisandra chinensis* baill.) с помощью метода хромато-масс-спектрометрии // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2017. – № 4 (21). – С. 206-210.
3. Резниченко И.Ю. Влияние климатических условий на биологическую ценность ягодного сырья Амурской области / И.Ю. Резниченко, Н.А. Фролова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 4. – С. 92-100.
4. Marc Cohen Rosehip. An evidence based herbal medicine for inflammation and arthritis // Reprinted from Australian Family Physician, 2012. – Vol. 41. – No. 7. – PP. 495-498.
5. Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I.C.F.R. Exotic fruits as a source of important phytochemicals: Improving the traditional use of *Rosa canina* fruits in Portugal // Food Research International. – 2011. – Vol. 44. – PP. 2233-2236.
6. Мальцева А.А., Тамилина И.А., Недосекова М.А., Тринеева О.В., Сливкин А.И., Чистякова А.С. / Изучение лигнанов в листьях лимонника методом ТСХ // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015. – № 1. – С. 147-151.
7. Фролова Н.А., Резниченко И.Ю. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ // Вопросы питания. – 2019. – Т. 88 – № 2. – С. 83-90. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10021.
8. Галиахметова Э. Х., Кудашкина Н. В., Хасанова С. Р. Исследование содержания кверцетина в листьях лимонника китайского // Сеченовский вестник. – 2018. – № 2.
9. Фотина Н. В., Асякина Л. К. Перспективы использования биологически активных веществ лимонника китайского (*Schisandra chinensis* (Turcz.) ball) // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность. – 2020. – С. 90-92.
10. Сливкин А. И., Добрин Ю. В. Элементный состав листьев и плодов лимонника китайского, произрастающего в Воронежской области // Фармация. – 2019. – Т. 68. – № 6. – С. 31-36.
11. Ермолаева А. В. Применение плодов лимонника даль-

невосточного в производстве пищевых продуктов // Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – 2017. – С. 31-34.

12. Табала Е.Б. Направления повышения пищевой ценности сахаристых кондитерских изделий // Товароведно-технологические аспекты повышения качества и конкурентоспособности продукции. – 2018. – С. 96-101.

13. Запорожский А. А. и др. Перспективы научных исследований в области разработки продуктов геродиетического назначения // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – Т. 326. – №. 2-3.

14. Marc Cohen Rosehip. An evidence based herbal medicine for inflammation and arthritis // Reprinted from Australian Family Physician, 2012. –Vol. 41. – No. 7. – PP. 495-498.

15. Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I.C.F.R. Exotic fruits as a source of important phytochemicals: Improving the traditional use of Rosa canina fruits in Portugal // Food Research International. – 2011. – Vol. 44. – PP. 2233-2236.

16. Макарова Н.В., Дмитриева А.Н., Мусифуллина Э.В., Стрюкова А.Д., Соболев Г.И., Антипенко М.И., Азаров О.И. Ягоды-исходное сырье с антиоксидантными свойствами // Пищевая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 25-27.

17. Кротова И.В., Пьянков Д.Г. Специализированные пищевые продукты на основе плодов лимонника китайского // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 4 (91). – С. 254-257.

18. Добрин Ю.В., Мальцева А.А., Сорокина А.А., Сливкин А.И. Изучение химического и элементного состава листьев лимонника китайского, заготовленных в Воронежской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2016. – № 1. – С. 136-139.

19. Praskova Y.A., Frolova N.A. Skrabak (Babi) N.V., Reznichenko I. Yu. Physical and mechanical methods of intensification of the process of extraction of substances from plant raw materials. Agritech 2019_4038 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 315 (2019) 052038.

Статья поступила в редакцию 10.05.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 664.66.022.39

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0026

ВЛИЯНИЕ МУКИ ИЗ ЭКСТРУДИРОВАННОЙ КОМПОЗИТНОЙ СМЕСИ СЕМЯН РАСТОРОПШИ И ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ НА ПОДЪЕМНУЮ СИЛУ ПРЕССОВАННЫХ ДРОЖЖЕЙ

© 2021

Шматкова Наталья Николаевна, аспирант**Кручинина Наталья Эдуардовна**, аспирант*Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, 1А/11,
e-mails: n.shmatkova2014@list.ru, kruchininane@gmail.com)*

Аннотация. В статье рассматривается влияние муки экструдированной композитной смеси (МЭКС) семян расторопши и зерна пшеницы на подъемную силу прессованных дрожжей в технологии хлеба из дрожжевого теста. Представлена конструктивно-технологическая схема экструдера с термовакуумным принципом рабочего процесса, с помощью которого получена МЭКС. Исследована взаимосвязь различных дозировок МЭКС и подъемной силы хлебопекарных прессованных дрожжей. Эффективность использования МЭКС в технологии приготовления хлеба из дрожжевого теста доказана при помощи пробной лабораторной выпечки. Анализ полученных результатов показателей качества хлеба подтверждает обоснованность выбора МЭКС в качестве рецептурного компонента. Рациональная концентрация полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон, минеральных веществ, витаминов Е и группы В, а также флавоноидов в составе МЭКС, влечет за собой возможность применения в хлебопекарных производствах с целью увеличения и расширения ассортимента хлебобулочных изделий с повышенной пищевой ценностью, при этом сохраняя высокие качества продукта и потребительские свойства. Результаты выполненных исследований показывают, что наиболее высокие органолептические и физико-химические свойства хлеба из дрожжевого теста можно получить при внесении в его рецептуру МЭКС в количестве 5 и 7% к массе муки.

Ключевые слова: мука, экструдат, мука экструдированной композитной смеси, подъемная сила дрожжей.

THE EFFECT OF FLOUR FROM AN EXTRUDED COMPOSITE MIXTURE OF MILK THISTLE SEEDS AND WHEAT GRAIN ON THE LIFTING FORCE PRESSED YEAST

© 2021

Shmatkova Natalia Nikolaevna, postgraduate student of department «Food Production»**Kruchinina Natalia Eduardovna**, postgraduate student of department «Food Production»*Penza State Technological University
(440039, Russia, Penza, Baidukova Proezd/Gagarina Street, 1A / 11,
e-mails: n.shmatkova2014@list.ru, kruchininane@gmail.com)*

Abstract. The article considers the influence of flour of an extruded composite mixture (MEKS) of milk thistle seeds and wheat grain on the lifting force of pressed yeast in the technology of bread from yeast dough. The design and technological scheme of the extruder with the thermal vacuum principle of the working process is presented, with the help of which the MEX is obtained. The interrelation of various dosages of MEKS and the lifting force of bakery pressed yeast is investigated. The effectiveness of the use of milk thistle seed extrudate and wheat grain in the yeast bread technology has been confirmed by its trial laboratory baking. The analysis of the obtained results of bread quality indicators confirms the validity of the choice of MEKS as a prescription component. The high content of polyunsaturated fatty acids, dietary fibers, a wide range of minerals, vitamins E and group B, as well as flavonoids in the composition of milk thistle seeds and wheat grains, determines the possibility of its use in the production of bakery products in order to expand the range of functional bakery products while maintaining high quality and consumer properties. The results of the performed studies show that the highest organoleptic and physico-chemical properties of bread from yeast dough can be obtained when MECS is added to its recipe in the amount of 5 and 7% by weight of flour.

Keywords: flour, extrudate, flour of the extruded composite mixture, lifting force of yeast.

Введение. Одним из перспективных путей повышения конкурентоспособности хлебопекарных производств Российской Федерации является привлечение в оборот новых сырьевых ресурсов, разработка оригинальных рецептур, а также расширение товарной номенклатуры обогащенных хлебобулочных изделий [1, 5, 8].

При этом особо важным аспектом данного развития отрасли является применение нетрадиционных видов сырья и новейших способов его обработки, что вместе с увеличением технологических процессов

способствует образованию новых потребительских свойств и повышению качества получаемой продукции [12, 14].

Известно, что спиртовое брожение является одним из основных технологических процессов, которые влияют на качество хлебобулочных изделий, приготавливаемых из дрожжевого теста. Ключевым ресурсом вышеописанного процесса являются хлебопекарные дрожжи. Собственные углеводы муки (глюкоза, фруктоза и сахароза) и сахара, образованные при помощи амилолитических ферментов муки из крахмала муки,

в определенной последовательности сбраживаются пока тесто находится в стадии созревания. Одновременно с этим процессом углекислый газ, получаемый во время спиртового брожения, делает тесто рыхлым и придает ему определенную пористую структуру, от которой впоследствии зависит качество мякиша готового продукта [4, 6, 11].

Анализ выполненных к настоящему времени работ показывает, что замена части рецептурных ингредиентов хлеба и хлебобулочных изделий на экструдаты композитных смесей семян различных растений и зерна пшеницы позволяет существенно повысить эффективность технологического процесса выработки и качества получаемой продукции [7, 9, 15-18].

Целью работы являлось изучение влияния муки экструдированной композитной смеси (МЭКС) на подъемную силу хлебопекарных дрожжей и качество готовых хлебобулочных изделий.

Материалы и результаты исследования. В качестве объектов исследований служил хлеб пшеничный формовой из муки высшего сорта с применением

МЭКС, которую вносили в различных дозировках при замесе теста взамен части пшеничной муки высшего сорта. Для экструдирования применяли ингредиенты, приобретенные в торговых сетях: зерно пшеницы 1-го класса (ГОСТ 9353-2916), семена расторопши, пшеничную муку высшего сорта (ГОСТ 26574-2017) и хлебопекарные прессованные дрожжи (ГОСТ Р 54731-2011). Образец хлеба пшеничного без внесения МЭКС, изготовленный на основе базовой рецептуры, служил в качестве контроля. При выполнении работы были использованы общепринятые стандартные методы исследований.

В статье приведены средние значения показателей. Пищевую и энергетическую ценность оценивали расчетным методом.

Экспериментальные образцы МЭКС были получены с помощью разработанного и запатентованного сотрудниками кафедры «Пищевые производства» экструдера с термовакуумным принципом работы, конструктивно-технологическая схема, которого приведена на рисунке 1 [8].

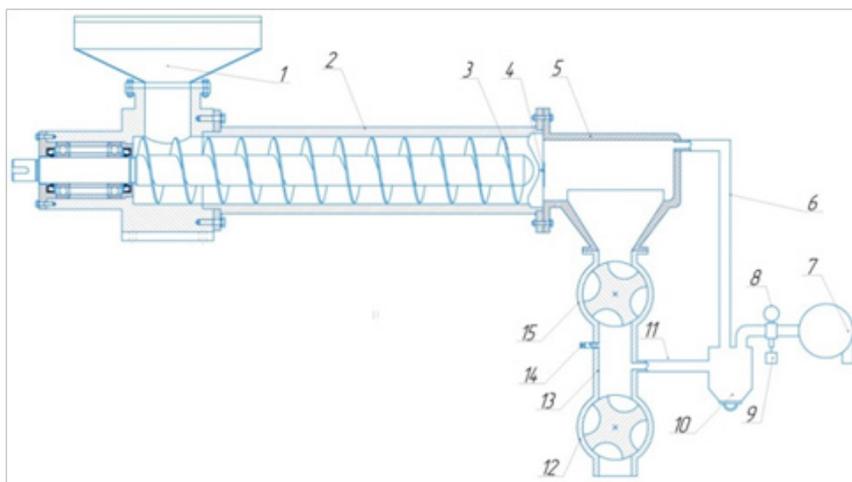


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера: 1 – камера загрузки сырья; 2 – корпус; 3 – рабочий орган; 4 – фильера; 5 – вакуумная камера предварительного обезвоживания; 6, 11 – соединительные трубопроводы; 7 – вакуум-насос; 8 – вакуум-метр; 9 – вакуум-регулятор; 10 – вакуум-баллон; 12, 15 – шлюзовые затворы; 13 – вакуумная камера окончательного обезвоживания; 14 – кран для впуска воздуха

Процесс работы экструдера включает подачу сырья при помощи рабочего органа (шнека) 3 в зону термопластической пластификации, его нагрева до температуры 120-130°C и обработки полученного экструдата в камерах предварительного 5 и окончательного 13 обезвоживания.

Во время попадания сырья из цилиндрического корпуса экструдера, с достаточно высоким давлением, в вакуумную камеру предварительного обезвоживания, вода, находящаяся в обрабатываемой смеси, интенсивно вскипает и превращается в пар. При этом температура экструдата в процессе испарения влаги с поверхности экструдата уменьшается примерно на 30°C.

В вакуумную камеру окончательного обезвоживания предварительно осушенный экструдат попадает при помощи шлюзового затвора 15. В этой камере из-за еще более низкого давления, чем в камере пред-

варительного обезвоживания, жидкость, входящая в продукт, снова закипает и перемещается на выгрузку. Объем удаляемого пара из камеры окончательного обезвоживания, а вместе с ним и влажность готового продукта, достаточно просто регулируется с помощью воздушного крана 14.

На рисунке 2 показаны образцы полученного продукта в виде муки и экструдата.



Рисунок 2 – Образцы продукта в виде муки (а) и экструдата (б)

При помощи ускоренного метода по скорости всплывания шарика теста (ГОСТ Р 54731-2011) в эксперименте оценивался уровень активности жизнедеятельности дрожжевых клеток. Тесто, которое используется в данном опыте, замешивали с заменой части пшеничной муки, которая предусмотрена рецептурой, на различные дозировки МЭКС: 5, 7 и 9% к общей массе смеси. Контрольным образцом послужил экземпляр, приготовленный из 100% пшеничной муки. Опираясь на требования ГОСТ Р 54731-2011(пункт 6.8.3) были произведены расчеты уровня подъемной силы. По количественным и качественным характеристикам клейковины муки и подъемной силе прессованных дрожжей определяли хлебопекарные свойства основного сырья. Фрагмент эксперимента показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Влияние МЭКС на подъемную силу хлебопекарных дрожжей

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что добавление МЭКС в дозировке 5, 7 и 9% способствует снижению содержания сырой клейковины на 0,6; 1,0 и 1,2% соответственно.

Параллельно с этим было отмечено укрепление клейковины – с увеличением дозировки МЭКС до 7% эффективность укрепляющего действия возрастает, на что указывает снижение индекса сопротивления деформирующей нагрузки клейковины.

Интересно отметить, что дальнейшее увеличение дозировки МЭКС до 11 и 15% приводит к увеличению упругих свойств клейковины на 3,1 и 7,7% и увеличению ее эластичности на 0,8 и 2,5 см соответственно. Очевидно, это связано с тем, что МЭКС содержит фермент, который преобразует окисленный трипептид-глутатион в активную форму – глутатион-редуктазу.

Результаты влияния дозировок МЭКС представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние МЭКС на подъемную силу дрожжей

Образец	Время, мин	Подъемная сила, мин
I Контрольный (100)	14,3	50,0
II (95:5)	13,2	46,5
III (93:7)	12,0	42,0
IV (91:9)	11,5	40,2

Данные, содержащиеся в таблице 1, указывают на то, что наибольшую подъемную силу продемонстрировали образцы, изготовленные с замещением муки пшеничной на 7% и 9% МЭКС. Продолжительность подъема шарика образцов равна 42,0 минуты и 40,2 минуты, что, собственно, на 16,0% и 19,6% выше по сравнению с контролем. В результате эксперимента полученные данные могут быть следствием того, что МЭКС содержит дополнительные микроэлементы (кальций, фосфор, цинк, магний), витамины и полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), являющимися дополнительным источником питания и обеспечивающих стимулирующее действие на жизнедеятельность дрожжевых клеток. Известно, что цинк играет немаловажную роль в процессах синтеза белка, и является важным фактором в активизации процесса брожения. Фосфор имеет значение в энергетическом обмене клетки, а также в процессах мембранного транспорта. Активность ферментов клетки зависит от многих факторов, в том числе от наличия кальция и магния.

Результаты исследования показали, что при увеличении дозировки МЭКС подъемная сила дрожжей прессованных в опытных пробах повышалась, что способствовало более интенсивному спиртовому брожению.

Эффективность влияния МЭКС на качественные характеристики хлеба определяли при помощи образцов лабораторных выпечек с применением рациональных дозировок от 5 до 9%. В качестве элемента контроля был выбран хлеб пшеничный формовой, изготовленный в соответствии с технологическими инструкциями для производства хлебобулочных изделий. В выпеченных изделиях определяли и оценивали удельный объем готовых изделий, пористость мякиша, кислотность мякиша, влажность мякиша и формоустойчивость продукта. Результаты представлены в таблице 2.

Установлено, что замена пшеничной муки в образцах на 5 и 7% МЭКС способствует улучшению их органолептических и физико-химических показателей. Указанные образцы характеризовались привлекательным внешним видом, приятным вкусом и ароматом. Структуру пористости мякиша следует отнести к средней, однородной, развитой и тонкостенной. При этом отмечено, что мякиш опытных образцов изделий хорошо пропечен, неувлажнен, не является липким на ощупь. В этих образцах были отмечены редкие включения частиц вносимой МЭКС.

Отмечено повышение удельного объема хлеба опытных образцов с внесением МЭКС в дозировке 5, 7 и 9% в сравнении с контрольным образцом – на 9,1; 10 и 11,7%, соответственно, а также пористости мякиша – на 3,7; 6,1 и 5,5%, соответственно.

При этом формоустойчивость опытных образцов при увеличении дозировки МЭКС также увеличивалась. Показатель влажности и кислотности хлеба опытных образцов изменялся незначительно и находился в пределах нормы, установленной стандартом.

Таблица 2 – Показатели хлеба, полученного с добавлением различных дозировок МЭКС

Наименование показателей качества изделий	Показатели качества изделий с добавлением МЭКС, % от массы муки с внесением ЭКС в тесто и продолжительностью брожения опары, мин							
	0 (контроль) 60	5		7		9		
		15	30	15	30	15	30	
Органолептические показатели:								
Внешний вид: форма	Правильная							
Поверхность	Гладкая, глянцевая, без крупных трещин и подрывов.							
Цвет корки	Светло-желтая	Светло-желтая		Светло-желтая		Светло-коричневая		
Вкус	Свойственный данному типу изделий, без постороннего привкуса							
Запах	Свойственный данному типу изделий, без постороннего вкуса				Наличие постороннего привкуса			
Состояние мякиша: пропеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь, эластичный. После легкого надавливания пальцами мякиш принимает первоначальную форму							
промесс	Без комочков и следов непомеса	Без комочков и следов непомеса с единичными вкраплениями частиц ЭКС				Без комочков и следов непомеса с заметными вкраплениями частиц ЭКС		
пористость	Пористость развитая, средняя, без пустот и уплотнений	Пористость развитая, мелкая, слегка уплотненная, тонкостенная				Пористость развитая, мелкая, уплотненная		
вкус	Нормальный свойственный хлебу, без посторонних привкусов.	Нормальный свойственный хлебу, без посторонних привкусов.				Нормальный свойственный хлебу, без посторонних привкусов.		
Физико-химические показатели:								
Наименование показателей качества изделий	0 (контроль)	5		7		9		
		15	30	15	30	15	30	
Влажность мякиша, %	48,0	49,0		49,3		49,5		
Кислотность мякиша, град	2,5	2,6		2,9		3,0		
Пористость мякиша, %	54,0	56,0		57,3		57,0		
Удельный объем, см ³ /100 г	340	371		374		380		
Формоустойчивость (Н: Д)	0,48	0,55		0,57		0,50		

Более детальный анализ таблицы 2 позволяет предположить, что увеличение пористости хлеба в опытных образцах с дозировкой 5 и 7% связано с содержанием дополнительных компонентов питания для дрожжей в составе МЭКС. Именно эти ингредиенты оказывают стимулирующее действие на актив-

ность дрожжевых клеток и повышение подъемной силы дрожжей. При этом, как известно, пористость хлеба существенно влияет на его сохранность и усвояемость организмом человека.

На рисунке 4 представлен общий вид контрольного и опытных образцов выпеченного хлеба.

Контрольный образец



Образец II (95:5)



Образец III (93:7)



Рисунок 4 – Общий вид готовых изделий

Заключение. Обоснована возможность использования МЭКС, содержащей в своем составе полиненасыщенные жирные кислоты, пищевые волокна, минеральные вещества, витамины E и группы B, флавоноиды, в для разработки рецептур хлебобулочных изделий с повышенной пищевой ценностью.

Следует отметить, что введение технологии приготовления хлебобулочных изделий с мукой ЭКС благоприятно скажется на экономике хлебопекарных производств, а также окажет определенный социальный эффект. Потребитель сможет получить продукт широкого потребления, обладающий высокими функциональными пищевыми ингредиентами, необходимыми

для человеческого организма: белками, полиненасыщенными жирными кислотами, пищевыми волокнами и минералами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воронина, П.К. Трансформация углеводного комплекса экструдированного ячменя /П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, Е.В. Тюрина // Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания: сб. материалов III Всероссийской научно-практ. конф. – Челябинск, том 1. – 2010. – С. 46-48.
2. Исследование влияния растительных пищевых добавок на эффективность активации прессованных хлебопекарных дрожжей /Н.Н. Корнен, С.А. Калманович, Т.А. Шахрай [и др.] //Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2017. № 3(44). – С. 3-7.

3. Курочкин, А.А. Аминокислотный состав экструдированного ячменя /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова //Пиво и напитки. – 2008. – № 4. – С. 12.
4. Курочкин, А. А. Регулирование функционально-технологических свойств экструдатов растительного сырья /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №4. – С. 86-91.
5. Курочкин, А.А. Системный подход к разработке экструдера для термовакуумной обработки экструдата /А.А. Курочкин //Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (1). – С. 33-39.
6. Курочкин, А.А. Теоретическое обоснование применения экструдированного сырья в технологиях пищевых продуктов: монография /А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 163 с.
7. Пат. 2579488 Российская Федерация, МПК7 А21D 8/02 (2006.01). Способ производства хлебобулочных изделий /Шабурова Г.В., Воронина П.К., Курочкин А.А. [и др.]. – №2014146596/13; заявл. 9.11.2014; опубл. 10.04.2016, Бюл. №10.
8. Пат. 198439 Российская Федерация, МПК А23Р 30/20, СПК А23Р 30/20. Экструдер с вакуумной камерой /Гарькина П.К., Курочкин А.А., Шабурова Г.В. [и др.], №2020110297; заявл. 10.03.2020; опубл. 09.07.2020, Бюл. №19.
9. Шабурова, Г.В. Активация хлебопекарных дрожжей с помощью экструдированных семян тыквы /Г.В. Шабурова, И.Н. Шешнищан, Ю.С. Кулькова //В сб.: Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья. Материалы I Всероссийской конференции с международным участием. 2019. – С. 319-322.
10. Шабурова, Г.В. Повышение технологического потенциала несложных зернопродуктов /Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, П.К. Воронина //Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1. – С. 90-96.
11. Шматкова, Н.Н. Перспективы применения композитной смеси в технологии хлебобулочных изделий функционального назначения /Н.Н. Шматкова, П.К. Воронина //Инновационная техника и технология. 2015. № 3 (4). – С. 17-22.
12. Шматкова, Н.Н. Исследование влияния экструдированной композитной смеси расторопши и зерна пшеницы на срок хранения хлебобулочных изделий /Н.Н. Шматкова, А.А. Курочкин //Инновационная техника и технология. 2019. № 4 (21). – С. 26-31.
13. Altan, A. Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and beta-glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products /A. Altan, K. L. McCarthy, M. Maskan// International Journal of Food Science and Technology. – 2009. – Vol. 44. – № 6. – P. 1263-1271.
14. Byung-Kee, B. Extrusion of Regular and Waxy Barley Flours for Production of Expanded Cereals /B. Byung-Kee; J. Powers; L. Nguyen //Cereal Chemistry; 2004. – Vol. 81. – № 1. – P. 94-99.
15. Garkina, P.K. Chemical composition and physicochemical properties of extruded buckwheat /P.K. Garkina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, G.V. Shaburova //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 640(2), 022037.
16. Delcour, J.A. Unmalted cereal Products for beer Brewing. part I. the use of high percentages of extruded or regular corn starch and sorghum / J.A. Delcour, M.E. Mechtilde Hennebert, R. Vancraenenbroeck, E. Moerman// J. Inst. Brew. – 1989. – Vol. 95. – P. 271-276.
17. Kurochkin, A.A. Extrudate dehydration rate increase by modernization of the extruder vacuum chamber /А.А. Курочкин, D.I. Frolov, V.M. Zimnyakov //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 422. 012033. doi: 10.1088/1755-1315/422/1/012033.
18. Shmatkova, N.N. Study of quality indicators of developed bakery products during storage /N.N. Shmatkova, A.A. Kurochkin //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 640(7), 072018.

Статья поступила в редакцию 21.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 665.348

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0027

ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МАСЛА РЫЖИКА, ВЫРАЩЕННОГО В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021

Жиганова Елена Сергеевна, аспирант
Садыгова Мадина Карипулловна, доктор технических наук,
профессор кафедры «Технологии продуктов питания»
Жиганов Даниил Александрович, соискатель
Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова
(410005, Россия, г. Саратов, ул. Соколова, 335,
e-mails: alenash89@mail.ru, sadigova.madina@yandex.ru, zhigdnk@bk.ru)

Аннотация. Рыжик – растение семейства капустных. Является масличной культурой, в своем составе имеющей незаменимые аминокислоты. В данной статье рассмотрена перспективность возделывания рыжика масличного в Саратовской области, дан анализ сортов рыжика по хозяйственно-биологическим свойствам. Так же приведены данные Росстата по возделыванию данной культуры в различных областях страны за 2019 год. Саратовская область входит в ТОП – 5 основных областей по возделыванию рыжика. В Росреестре на данный момент 8 сортов озимого и 13 сортов ярового рыжика. В Саратовской области выращивают рыжик яровой. Наибольший интерес, для нашей области, представляют сорта саратовской селекции. Рыжиковое масло используют в технических целях, косметологии, а так же нарастает популярность пищевого использования данного сырья. Для оценки пищевой ценности был проведен анализ жирнокислотного состава масла рыжика сорта Передовик, выращенного в Саратовской области, в сравнении с сортом Исилькулец, выращенного в Томской области. Рыжиковое масло, полученное из сырья, выращенного в Саратовской области, соответствует ГОСТ Р 59148-2020. Соотношение Омега-3 к Омега-6 составляет 1:0,7, что позволит восполнить дефицит полиненасыщенных жирных кислот в организме человека.

Ключевые слова: рыжик, жирнокислотный состав, олеиновая, линолевая, линоленовая кислоты, омега-3, омега-6, полиненасыщенные жирные кислоты, масличные культуры, диетическое питание, газохромографический метод.

FATTY ACID COMPOSITION OF GINGER OIL GROWN IN THE SARATOV REGION

© 2021

Zhiganova Elena Sergeevna, graduate student
Sadygova Madina Karipullova, doctor of technical sciences, professor of the Department of Food Technologies
Zhiganov Daniil Aleksandrovich, the applicant
Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov
(335 Sokolova str., Saratov, 410005, Russia,
e-mails: alenash89@mail.ru, sadigova.madina@yandex.ru, zhigdnk@bk.ru)

Abstract. Ginger is a plant of the cabbage family. It is an oilseed crop, which has essential amino acids in its composition. This article considers the prospects for the cultivation of oilseed ginger in the Saratov region, analyzes the varieties of ginger according to their economic and biological properties. The data of Rosstat on the cultivation of this crop in various regions of the country for 2019 are also given. The Saratov region is among the TOP 5 main areas for the cultivation of ginger. At the moment, there are 8 varieties of winter and 13 varieties of spring ginger in the Rosreestr. In the Saratov region, spring ginger is grown. The varieties of Saratov selection are of the greatest interest for our region. Ginger oil is used for technical purposes, cosmetology, as well as the growing popularity of the food use of this raw material. To assess the nutritional value, an analysis of the fatty acid composition of the ginger oil of the Peredovik variety grown in the Saratov region was carried out in comparison with the Isilkulets variety grown in the Tomsk region. Ginger oil obtained from raw materials grown in the Saratov region complies with GOST R 59148-2020. The ratio of Omega-3 to Omega-6 is 1:0.7, which will make up for the deficiency of polyunsaturated fatty acids in the human body.

Keywords: ginger, fatty acid composition, oleic, linoleic, linolenic acids, omega-3, omega-6, polyunsaturated fatty acids, oilseeds, dietary nutrition, gas chromatographic method.

Введение. Основное направление развития производства продуктов питания в наше время, это производство полезной и обогащенной диетической продукции. Человек не способен самостоятельно синтезировать или синтезирует в недостаточном количестве незаменимые пищевые вещества необходимые для жизнедеятельности организма. Вследствие этого, он может их получить из вне, в том числе, с пищей.

К таким веществам относят Омега-3 и Омега-6 жирные кислоты. Жирно-кислотный состав является основной ценностью растительных масел. По рекомендациям ФАО/ВОЗ соотношение их в питании должно быть 1:5 - 1:6 и не более 1:10. По исследованиям ученых в в эпоху Полиолита данное значение было 1:0,8, сейчас имеют соотношение в питании Омега-3 к Омега-6 равное 1:2 народы острова Крит, с большим

количеством должителей. В Японии данный показатель равен 1:4 [1, 2]. Масличными культурами возделываемыми в основном в нашей стране являются соя, подсолнечник, кукуруза, их применяют в пищевых целях. Основной их недостаток – это фактически отсутствие Омега-3. Данная аминокислота содержится в достаточном количестве в семенах растений семейства крестоцветных: рапс, рыжик и сурепица [3]. Рыжик являлся одной из забытых масличных культур нашей страны.

Целью исследования является обоснование перспективности выращивания рыжика в Саратовской области, как масличной культуры для пищевых целей, анализ его жирнокислотного состава.

Рыжик – растение семейства капустных, выращивают в двух формах: яровой и озимый. Семена мелкие 1,5-2,5 мм, рыже-коричневого цвета, продолговатого-овальные. Является скороспелой культурой. Полный цикл развития, включая и зимнюю фазу, составляет 300 дней. Рыжик малотребователен к погодным условиям, является холодостойкой культурой и практически не повреждается вредителями [4, 5]. Данные факторы являются преимуществом данной культуры перед другими масличными растениями в Саратовской области. С этим связан интерес сельского хозяйства к рыжику.

По данным Росстата, в 2019 году в хозяйствах всех категорий составили 75,9 тыс. га. За 10 лет посеы увеличились - на 571,3%. Саратовская область вошла в 5 основных областей по стране по посевам рыжика (рис. 1)[6].

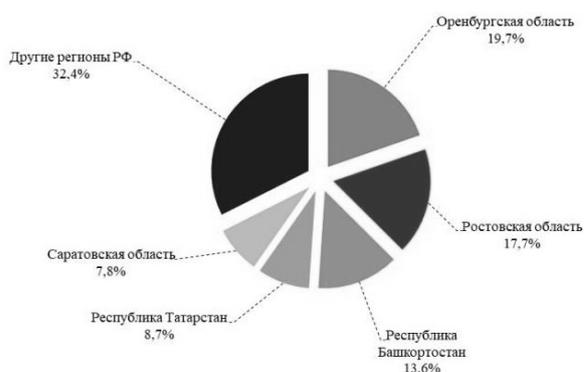


Рисунок 1 – Топ-5 крупнейших регионов по посевным площадям рыжика в 2019 году

В 2020 году в Госреестре 8 сортов озимого и 13 ярового рыжика. В Саратовской области выращивают рыжик озимый. Яровая культура, выращенная в нашем регионе, более мелкая, менее масличная, сильнее забивается сорняками, а также в полной мере не может вызреть в силу погодных условий. Яровые сорта выращивают в основном на юге России в Краснодарском крае и Ростовской области.

Рыжик озимый более неприхотлив к температурному режиму (прорастает при +10С, всходы выдерживают заморозки до -10°С). А также является засухоустойчивой культурой. Урожайность семян – 3,0 т/га, масличность 40-42 % [7, 8].

Основными пятью сортами, возделываемыми в нашей области, являются: Пензяк, Козырь, Карат, Передовик и Адамас. Хорошо зарекомендовал себя сорт Пензяк, селекции Пензенского НИИСХ [9]. Он внесен в Госреестр еще с 2002 года. Сорт Пензяк формирует урожай до 28,8 ц/га. Масличность семян 40,1-42,0 %. Всходы хорошо переносят заморозки. Засухоустойчивость высокая. Слабо повреждался земляной блохой. Используется в пищевых, кормовых и технических целях.

Наибольший интерес для нашей области представляет сорт Передовик, включен в Госреестр в 2014 году. Выведен совместно ООО ОВП «Покровское» (Саратовская область), ФГБНУ «Российский НИПТИ сорго и кукурузы» (г. Саратов), ФГБОУ ВО СГАУ им. Н.И. Вавилова (г. Саратов). Это ранний сорт, со слабой полегаетостью и осыпаетостью. Засухоустойчивый и зимостойкий озимый рыжик. Устойчив к болезням, таким как мучнистая роса и альтернариоз. Повреждается в меньшей степени крестоцветным цветоедом и крестоцветными земляными блошками. Урожайность его до 20,0 ц/га, масличность семян свыше 40%. Применяется в пищевых, кормовых и технических целях [10].

Рыжик используют в технических целях, в основном при производстве олифы, лаков и красок [1]. Так же это перспективное сырье, благодаря высокому содержанию длинно-цепочечных жирных кислот (эруковой и эйкозеновой, суммарно до 17–24%), характеризующихся высокой теплотой сгорания, для переработки в биодизельное топливо. Извлеченный жмых – высоко-белковый корм для животных, одержащий 36-40% легкоусвояемого протеина. Содержит значительное количество фосфорной кислоты (3–4% от массы золы), поэтому является хорошим удобрением. В настоящее время озимый рыжик пользуется спросом как на технические, так и на пищевые масла [7, 8, 11, 12]. А возделывание в нашем регионе – экономически выгодно, так как это ведет к отсутствию затрат на транспортировку и долговременное хранение сырья.

В пищу как самостоятельный продукт масло употребляется в незначительном количестве. Связано это с органолептическими показателями, свойственными только данному продукту: острый вкус, напоминающий вкус редьки и хрена, а так же специфический аромат. Для устранения данных показателей используют дезодорацию, а так же добавление эфирных масел и специй: укроп, лимон, чеснок, кориандр и т.д.[1, 3, 13].

Отечественные исследователи изучают перспективность применения рыжикового масла в рецептурах мучных кондитерских изделий. Так в ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» учеными разработана рецептуры мучных кондитерских изделий с рыжиковым маслом, таких как сахарное печенье и крекеры. Было определено, что входящие в состав фосфалипиды положительно влияют на структурно-механические свойства теста, улучшают технологические свойства водно-жировой эмульсии теста, органолептические показатели, а также качество готовой

продукции. Благодаря равномерному распределению жировой фазы в процессе замеса, продукция имеет пористую и хрупкую структуру [14]. При этом отмечено положительное влияние на показатели качества готового продукта.

Увеличение сроков хранения крекеров с маслом рыжика составил не более 30-ти суток при оптимальной температуре $19 \pm 3^\circ\text{C}$ и влажности не более 75%. А так же выросло на 16% содержание полиненасыщенных жирных кислот, в том числе α -линоленовой (ω -3), токоферолов, каротиноидов от исходного образца продукта [15, 16, 17].

Рыжиковое масло является источник ненасыщенных жирных кислот: α -линоленовой 36-40% (омега-3), олеиновой 15-19% и линолевой 16-20% (омега-6), что позволяет использовать его как продукт для здорового и диетического питания. Соотношение Омега-3 и Омега-6 в нем близко к идеальному составу от 1:0,8 до 2:1 соответственно [12, 3, 13]. Это основное и самое важное отличие рыжикового масла от других растительных масел. Данные кислоты принимают участие в жировом и холестеринном обмене, способствуют поддержанию гормонального баланса в норме, благоприятно влияют на свойства крови и кровеносные сосуды, обладают антисклеротическим и противовоспалительным действием, укрепляют иммунитет и

очищают организм от вредных веществ [18, 5].

Материалы и результаты исследования. Для анализа отобрали образцы нерафинированного рыжикового масла холодного отжима, произведенное в «Лаборатории масличных и нетрадиционных кормовых культур» при ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. Сертификат соответствия С-RU.AU56.B.00011. Анализ качества сырья проводили по ГОСТ Р 59148-2020 «Масло рыжиковое для пищевой и комбикормовой промышленности. Технические условия». Сырьем является рыжик озимый сорта Передовик, выращенный в Красноармейском районе Саратовской области. Партия масла выработана холодным отжимом 28.05.2021 года объемом 150 л. Жирнокислотный состав масла определяли по ГОСТ 30418-96 газохроматографическим методом.

По органолептическим показателям: масло прозрачное, без осадка. Насыщенного желто-оранжевого цвета. Вкус и аромат свойственный рыжиковому маслу. Таким образом, масло соответствует органолептическим показателям ГОСТ Р 59148-2020.

Для сравнения жирнокислотного состава масла рыжика разных сортов в таблице 1 приведены данные ученых Института химии нефти РАН, которые в своих исследованиях использовали сорт рыжика «Исилькулец», выращенного в Томской области [19].

Таблица 1- Жирнокислотный состав рыжикового масла

Обозначение	Наименование	Показатели ГОСТ Р 59148-2020, %	Сорт		Погрешность измерения, %
			Передовик	Исилькулец [19]	
C _{14:0}	Тетрадекановая (миристиновая)	до 0,1	0,3	-	11
C _{16:0}	Гексадекановая (пальмитиновая)	4,6-6,2	6,1	5,2	8
C _{16:1}	Гексадеценная (пальмитолеиновая)	до 0,2	0,2	-	11
C _{18:0}	Октадекановая (стеариновая)	2,0-3,0	2,7	2,3	11
C _{18:1}	Октадекаиновая (олеиновая)	13,0-21,8	18,3	16,3	8
C _{18:2}	Октадекадиеновая (линолевая)	16,3-21,5	19,4	17,7	8
C _{18:3}	Октадекатриеновая (линоленовая)	29,0-39,0	31,9	36,7	5
C _{20:0}	Эйкозановая (арахиновая)	1,0-1,9	1,4	-	11
C _{20:1}	Эйкозеновая (гондоиновая)	12,6-15,5	13,9	12,5	8
C _{20:2}	Эйкозодиеновая	1,3-2,6	1,6	1,8	11
C _{20:3}	Эйкозатриеновая	0,8-1,8	1,0	-	11
C _{20:0}	Докозановая (бегеновая)	До 0,4	0,3	-	11
C _{22:1}	Эруковая (докозеновая)	2,2-3,5	2,6	2,3	11

Исходя из данных таблицы 1, по жирнокислотному составу рыжик, выращенный в Саратовской области, отличается более высокими значениями по ряду ценных показателей: содержанию пальмитиновой, стеариновой, олеиновой, линолевой кислот по сравнению с сортом Исилькулец, выращенной в Томской области. По показателю линоленовая кислота образец Исилькулец имеет больший результат.

Превышение показателей тетрадекановой по сравнению с ГОСТом согласно погрешности измерения при испытании не критично.

Самой ценной считается группа Омега-3, к ней относится альфа-линоленовая (C18:3) кислота (АЛК), Эйкозатриеновая (C20:3). Из данных таблицы 1 видно, что их суммарное содержание 32,9%. В сравнение: подсолнечное масло до 0,3% (ГОСТ 1129-2013 «Мас-

ло подсолнечное. Технические условия»); горчичное масло 8,0-13,0% (ГОСТ 8807-94 «Масло горчичное. Технические условия»); соевое масло 4,5-11,0% (ГОСТ 31760-2012 Масло соевое. Технические условия). Образец Исилькулец имеет суммарное значение 36,7%. Что чуть больше исследуемого нами образца. Наибольшее содержание Омега – 3 у растительных масел только у льняного (до 55%). Таким образом, содержание Омега-3 в рыжиковом масле в три раза больше, по сравнению с основными масличными культурами. Это помогает организму бороться со стрессами, нормализует уровень холестерина и артериального давления, а также улучшает состояние волос и ногтей.

Наибольший интерес из группы Омега-6 представляет линолевая кислота (C18:2), Эйкозодиеновая (C20:2). Суммарное количество в образце Передо-

вик, как видно из таблицы 1, равно 21,0%. У образца Исилькулец значение 19,5%.

Соотношение данных групп полиненасыщенных жиров продуктов не должно превышать данных ВОЗ, и это нужно контролировать. Согласно рекомендациям МР 2.3.1.243208 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», потребность от калорийности суточного рациона для взрослых в данных кислотах составляет 6–10%. При этом потребление Омега-3 жирных кислот так же от калорийности суточного рациона должно составлять 0,8–1,6 г/сут, и Омега-6 жирных кислот—8–10 г/сут, или 1–2% и 5–8% соответственно. Оптимальное соотношение в суточном рационе жирных кислот суммарно всех за сутки должно составлять 1:5–10 соответственно [20]. По данным ВОЗ недостаток Омега-3 и избыток Омега-6 приводит к дисбалансу, повышение пропорций более 1:10 приводит со временем к воспалительным процессам в организме, чаще в работе сердечнососудистой системы и суставах. По исследованиям ученых, наименьший показатель смертности от сердечнососудистых заболеваний у народов Гренландии, которые имеют соотношение в питании Омега-3 к Омега-6 равное 1:1 [2]. Таким образом, соотношение Омега-3 и Омега-6 в данном образце рыжикового масла составляет 1:0,7 соответственно, что обосновывает высокую пищевую ценность продукта. У образца Исилькулец значение 1:0,5.

Заключение. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Сорт рыжика озимого Передовик является перспективным для возделывания в условиях Саратовской области, адаптирован к климатическим условиям региона, отмечается стабильно высокой урожайностью и масличностью семян.

2. Применение в пищевой промышленности масла рыжика обосновывается его полезными свойствами и сбалансированным жирнокислотным составом. Рыжиковое масло, полученное из сырья, выращенного в Саратовской области, соответствует ГОСТ Р 59148-2020. Соотношение Омега-3 к Омега-6 составляет 1:0,7, что является оптимальным за сутки для питания и позволит восполнить дефицит полиненасыщенных жирных кислот в организме человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мхитарьянц, Л. А. Особенности химического состава и свойств семян рыжика / Л. А. Мхитарьянц, Г. А. Мхитарьянц, Я. Г. Коростелева // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2013. – № 5-6(335-336). – С. 27-29.
2. Зайцева, Л. В. Полиненасыщенные жирные кислоты в питании: современный взгляд / Л. В. Зайцева, А. П. Нечаев // Пищевая промышленность. – 2014. – № 4. – С. 14-19.
3. Лупова, Е. И. О пользе рыжикового масла / Е. И. Лупова // Здоровая окружающая среда - основа безопасности регионов: Материалы первого международного экологического форума в Рязани, Рязань, 11–13 мая 2017 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2017. – С. 226-230.
4. Агровестник. 09.01.2019 Источник Самара-Арис: <https://agrovesti.net/lib/tech/growing-oilseeds/tekhnologiya-vozdelyvaniya-ryzhika.html>

5. Макарова, С. Г. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты классов ω -3 и ω -6 как эссенциальный нутриент в разные периоды детства / С. Г. Макарова, Е. А. Вишнева // Педиатрическая фармакология. – 2013. – Т. 10. – № 4. – С. 80-88.

6. Источник в интернете «АБ-Центр»: <https://agrovesti.net/lib/industries/oilseeds/posevnyue-ploshchadi-ryzhika-v-rossii-itogi-2019-goda.html>

7. Трубина, В. С. Рыжик озимый (*Cameliasativa* (L.)) – направления и результаты селекции во ВНИИМК / В. С. Трубина, А. В. Шевчук // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых, Краснодар, 24–26 ноября 2015 года / Ответственный за выпуск: А.Г. Кошаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2016. – С. 706-707.

8. Горлов В.С., Трубина В.С., Сердюк О.А. Сорт рыжика озимого Карат // Масличные культуры: Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – Краснодар, 2015. – Вып. 2 (162). – С. 127-128.

9. Сафронкин, А. Е. Приемы возделывания рыжика озимого (*Camelina* SP) в лесостепи Среднего Поволжья: специализация 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство" : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Сафронкин Артем Евгеньевич. – Пенза, 2016. – 135 с

10. Зубков, В. В. Перспективная масличная культура озимый рыжик / В. В. Зубков // Самарский земледелец. – 2015. – № 3. – С. 8-13.

11. Ивашина, О.А. Разработка и исследование технологии спредов функционального назначения со сниженным содержанием трансизомеров жирных кислот : диссертация ... кандидата технических наук : 05.18.04 / Ивашина Оксана Александровна – Кемерово, 2016. – 161 с.

12. Кшникаткина, А. Н. Рыжик озимый - как альтернатива масличным культурам / А. Н. Кшникаткина, Т. Я. Прахова // Фермер. Поволжье. – 2015. – № 7(38). – С. 34-35.

13. Долголюк, И.В. Растительные масла - функциональные продукты питания / И. В. Долголюк, Л. В. Терещук, М. А. Трубникова, К. В. Старовойтова // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 2(33). – С. 122-125.

14. Фосфлипиды рыжикового масла производств печеня / Т. В. Рензьева, И. Ю. Резниченко, С. В. Новоселов, Е. В. Дмитриева // Ползуновский вестник. – 2018. – № 1. – С. 37-42. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.008

15. Разработка и товароведная оценка новых видов крекоров с использованием масла рыжика / Крашкин Д. Ю. // Тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.18.15, Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006. – 167 с.

16. Сафронова, Т. Н. Способы повышения качества и пищевой ценности булочных изделий / Сафронова Т. Н., Ермош Л. Г. - Красноярск : СФУ, 2016. - 172 с. - ISBN 978-5-7638-3501-4.

17. Рудаков, О.Б. Товарный менеджмент и экспертиза жировых товаров : учебное пособие / О. Б. Рудаков, Э. П. Лесникова, И. Н. Семенова, К. К. Полянский. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 304 с. – ISBN 978-5-8114-1954-8.

18. Артюхова, С. И. Об актуальности использования рыжикового масла при производстве биопродуктов для питания студентов / С. И. Артюхова, Г. И. Бондарева // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8-1. – С. 102.

19. Сизова, Н.В. Жирнокислотный состав масла *camelina sativa* (L.) crantz и выбор оптимального антиоксиданта/ Н.В. Сизова и др. // Химия растительного сырья, 2003. – №2. – С. 27-31.

20. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432/08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»: [утверждены главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г.Онищенко 18 дек. 2008 г.] – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2008 г. – 41 с.

Статья поступила в редакцию 13.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 637.518

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0028

РЫНОК АНАЛОГОВ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В РОССИИ: АССОРТИМЕНТ, СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

© 2021

Макарова Анна Андреевна, аспирант кафедры «Технологии питания»

Крюкова Екатерина Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии питания»

Уральский государственный экономический университет

(620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62/45, e-mails: makarova_aaa@mail.ru, katepat@mail.ru)

Аннотация. На текущий момент особую нишу на мировом рынке пищевых продуктов заняли аналоги мяса, популярность которых сформировалась под влиянием тенденции здорового питания, а также с учетом экологических, этических и социальных аспектов. Так мировой рынок мясоимитирующей продукции оценивается в 11,5-12 млрд. долларов с годовым темпом роста 7,9%. В статье рассмотрены аналоги мясных полуфабрикатов из альтернативных источников белка отечественных и импортных производителей и показан удельный вес разновидностей полуфабрикатов на примере торговой сети города Москвы. Установлено, наблюдается стремительный рост данного сегмента рынка: российский рынок аналогов мяса в 2020 г. увеличился в несколько раз в сравнении с предыдущим годом и его объем составил 284,7 тыс. тонн. Изучены альтернативные источники белка, используемые в рецептурах исследуемых полуфабрикатов, и проведен анализ стоимости данной продукции. Изложены результаты анализа ассортимента потребительского рынка соевых котлет и рассчитан коэффициент полноты ассортимента ($K_n=55,4\%$) для выявления необходимости вывода на потребительский рынок аналогов мясных полуфабрикатов из продуктов переработки сои.

Ключевые слова: аналоги мяса, растительные полуфабрикаты, соя, ассортимент, производители, розничная торговая сеть, потребительский рынок.

THE MARKET OF ANALOGUES OF MEAT SEMI-FINISHED PRODUCTS IN RUSSIA: ASSORTMENT AND DEVELOPMENT TRENDS

© 2021

Makarova Anna Andreevna, postgraduate student of the department of «Food Technology»

Kryukova Ekaterina Vladimirovna, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of «Food Technology»

Ural State University of Economics

(620144, Russia, Yekaterinburg, st. 8 Marta, 62/45, e-mails: makarova_aaa@mail.ru, katepat@mail.ru)

Abstract. At the moment, meat analogues have taken a special niche in the world food market, the popularity of which was formed under the influence of the trend of healthy eating, as well as taking into account environmental, ethical and social aspects. Thus, the world market for meat analogues is estimated at \$ 11.5-12 billion with an annual growth rate of 7.9%. The article discusses analogues of semi-finished meat products from alternative sources of protein of domestic and foreign manufacturers and shows the proportion of varieties of semi-finished products using the example of a trading network in the city of Moscow. It has been established that there is a rapid growth in this market segment: the Russian meat analogue market in 2020 increased several times compared to the previous year and its volume amounted to 284.7 tons, in monetary terms the market volume is 1889.3 thousand US dollars. The alternative sources of protein used in the formulations of the investigated semi-finished products have been studied, and the cost analysis of these products has been carried out. The results of the analysis of the assortment of the consumer market of soybean cutlets are presented and the coefficient of the completeness of the assortment ($K_p = 55.4\%$) is calculated to identify the need to bring analogs of semi-finished meat products from soy products to the consumer market.

Keywords: meat analogs, vegetable semi-finished products, soybeans, assortment, manufacturers, retail trade network, consumer market.

Введение. В современной продовольственной системе наблюдаются изменения в моделях потребления, вызванные несколькими факторами, в том числе проблемами этики, здоровья и окружающей среды [1]. Сейчас отмечается увеличение числа потребителей-флекситарианцев, которые сокращают потребление мяса или полностью воздерживаются от него [2, 3]. Данное изменение сопровождается активизацией исследований и разработок в области растительных альтернатив животному белку; в частности, делается упор на производство продуктов питания на растительной основе, имитирующих продукцию животного

происхождения, таких как мясо, рыба, яйца, молоко и продукты из них [4 - 7]. Основная задача в этой области состоит в том, чтобы смоделировать желаемый внешний вид, текстуру, аромат, ощущение в ротовой полости и функциональность этих продуктов с использованием ингредиентов из растительных источников [8].

В настоящее время пищевая промышленность переживает революцию, поскольку как малые, так и крупные компании стремятся создать новое поколение продуктов на растительной основе для удовлетворения потребительского спроса на мясоимитирующую

продукцию [9]. Рынок аналогов мяса – один из самых быстрорастущих секторов пищевой промышленности [6,10]. Аналитический центр *Deloitte Consulting* оценил мировой рынок заменителей мясной продукции в 12 млрд. долларов; в России рынок данной категории товаров оценивается в 2,6 млрд. рублей [11]. Более того, прогнозируется, что к 2025 году этот сегмент рынка превысит 35 миллиардов долларов с совокупным годовым темпом роста в 7,9% [9, 12]. Как отмечает *Bohrer V.M.*, наиболее быстрорастущим регионом является Азиатско-Тихоокеанский, а самым крупным рынком аналогов мясной продукции – Европа. *Boukid F.* предполагает, что мясоимитирующая продукция на растительной основе продолжит развиваться как нишевый рынок [3].

Современные аналоги мясных продуктов являются высокопитательной продукцией с повышенным содержанием белка, низким содержанием насыщенных жирных кислот и отсутствием холестерина, однако содержат в своем составе большое количество различных ингредиентов, в том числе красителей и ароматизаторов [13, 14].

Цель исследования – изучить российский рынок аналогов мясных полуфабрикатов, раскрыть тенденции и перспективные направления его развития.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи: выявить объемы рынка аналогов мяса в РФ; определить основных производителей; изучить ассортимент аналогов мясных полуфабрикатов из альтернативных источников белка, реализуемых на потребительском рынке города Москвы; установить источники белка, используемые в рецептурах аналогов мясных полуфабрикатов; рассчитать коэффициент полноты ассортимента K_n по виду источника белка в котлетах (из продуктов переработки сои) для обоснования необходимости разработки аналога мясного полуфабриката из продуктов переработки сои.

Материалы и результаты исследования. Объектом исследования служил перечень аналогов мясных полуфабрикатов различных фирм производителей, реализуемых в розничной торговой сети города Москвы. Матрица данных исследования сгенерирована методом выборочного наблюдения в мае 2021 года; контур генеральной совокупности единиц наблюдения определялся в процессе формирования выборки при помощи метода отбора типичных элементов. В матрицу были внесены все наименования изучаемой товарной категории (225 наименований полуфабрикатов 50 торговых марок), присутствующие на момент наблюдения в электронных каталогах торговых предприятий, включенных в выборку: специализированные магазины (здорового питания, вегетарианские/веганские и эко магазины) – 62,0%; продуктовые торговые сети – 24,2% и маркетплейсы – 13,8%. При статистической обработке результатов исследования использовалась программа *MS Excel (MS Office)* и такие аналитические методы, как анализ, описание, систематизация, обобщение и метод графического отображения.

Наблюдается стремительный рост рынка аналогов

мяса в России, так за 2020 год в данном сегменте появилось много новых игроков, в том числе предприятия мясной промышленности, запустившие линейку растительных продуктов (Наро-Фоминский мясокомбинат, Микояновский мясокомбинат, мясокомбинат «Окраина», Ростовский колбасный завод «Тавр»); основные производственные мощности данной ниши сконцентрированы в г. Москве и г. Санкт-Петербурге, а также в Московской, Костромской, Калужской, Белгородской и Липецкой областях [15]. Динамика российского рынка аналогов мясной продукции представлена на рисунке 1. Исходя из исследования, проведенного компанией «*Discovery Research Group*», объем импорта аналогов мяса в Россию в 2020 г. составил 334,3 тыс. долл. США, при этом внушительную долю импорта занял бренд *Beyond Meat* (США), а объем экспорта – 0,5 тонн, наибольшая доля экспорта приходится на Украину.

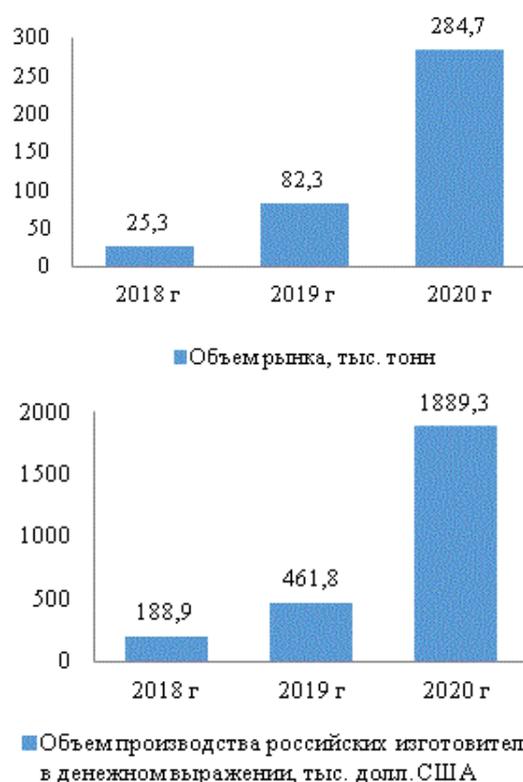


Рисунок 1 – Объем рынка растительного «мяса» в России за 2018-2020 гг. [15]

На текущий момент в России аналоги мясных полуфабрикатов представлены основными производителями под торговыми марками: #неМясо, «Вастэко», «ВегановЪ», «Вегмени», «Вкусное Дело», «Высший вкус», «Доктор Шпинато», «Еда будущего», «Житница здоровья», «Здороведа», «Здоровка», «Золото Земли», «Золотые злаки Сибири», «Иван Да», «Мумлесс», «Не мясо», «От Ильиной», «Сойка», *Dumplings world*, *Ego Veg&Gluten-free*, *Greenwise*, *HI! – Healthy Innovation*, *HoodStreetFood*, *Just Cook*, *Light Meat Vegan foods*, *Mallakto*, *Perfetto*, *She's got a knife*, *Soymik*, *Vegafood*, *Veganika*, *Vego*, *Welldone*, *Zeromeat*. Также на российском рынке имеются растительные альтернати-

вы мясу зарубежных производителей, доля которых составляет 20,0%: *Ajinomoto* (Япония), *Apetit* (Финляндия), *AwakePower* (Таиланд), *Believe it* (Беларусь), *Beyond Meat* (США), *Moving Mountains* (Нидерланды), *NG – Naturally Good* (Израиль), *Ponnath* (Германия), *Soligrano* (Польша), *Vantastic food* (Германия). Основателем направления мясоимитирующей продукции в России является бренд *Beyond Meat*. Наибольший

объем аналогов мясных полуфабрикатов, входящих в выборку, представлен торговыми марками *Vegafood*, *Veganika* и *Vego* – по 6,2%; на втором месте торговые марки «Сойка» и «Мумлесс» – по 5,3%; третье место занимают торговые марки *Just COOK* и «Вкусное дело», на долю которых приходится по 4,4%. Видовой ассортимент аналогов мясных полуфабрикатов, имеющих на российском рынке, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Видовой ассортимент аналогов мясных полуфабрикатов и их средняя розничная цена

№ п/п	Наименование полуфабриката	Удельный вес, %	Средняя цена, руб./100 г (на май 2021 г.)	
			Отечественные производители	Зарубежные производители
1.	Котлеты	28,9	69,91	232,01
2.	Сухая смесь для приготовления котлет	17,8	51,12	340,00
3.	Пельмени, хинкали	12,9	66,50	98,06
4.	Фарш из растительного «мяса»	7,1	84,12	229,93
5.	Гуляш	4,9	49,18	-
6.	Крокеты (фалафель)	4,4	61,37	-
7.	Фрикадельки, тефтели	4,4	90,96	222,45
8.	Наггетсы	4,4	113,88	283,11
9.	Стейки, эскалопы	4,0	101,72	246,77
10.	Кусочки, азу, бефстроганов	3,6	63,81	-
11.	Шницель	2,7	76,58	-
12.	Шашлык	1,8	60,47	-
13.	«Курица» веганская	1,3	113,00	234,88
14.	Биточки	0,9	70,00	-
15.	Отбивная в кляре	0,9	-	265,24

Как видно из таблицы 1, наибольший удельный вес занимает такой вид полуфабрикатов, как котлеты (28,9%) и сухие смеси для приготовления котлет (17,8%). Продукция российских производителей присутствует во всем перечне исследуемой продукции, за исключением категории «отбивная в кляре». Средняя розничная цена аналогов мясных полуфабрикатов зарубежных производителей значительно дороже в сравнении с отечественной продукцией (на 48-565%),

что может быть связано с более высокой себестоимостью импортной продукции, логистическими издержками и т.д.

Анализ данных маркировки позволил установить основное сырье, используемое в качестве источника белка, в аналогах мясных полуфабрикатов. На рисунке 2 изображено распределение альтернативных источников белка в рецептурах мясоимитирующих полуфабрикатов.

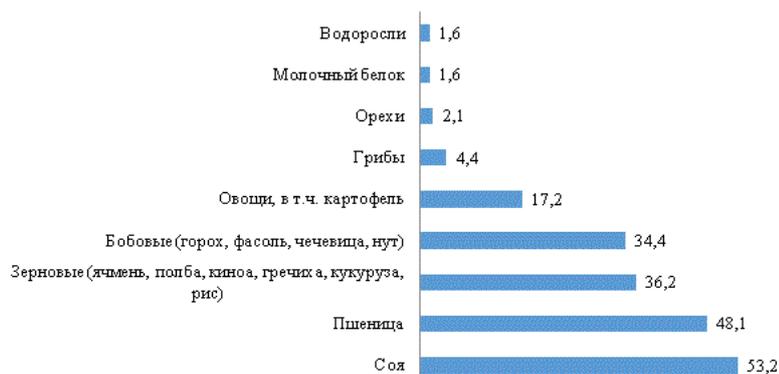


Рисунок 2 – Использование сырья в качестве альтернативного источника белка в рецептурах аналогов мясных полуфабрикатов, %

Производители альтернативных растительных котлет чаще всего используют один источник белка – сою (21,5 %) или горох (12,3), а также комбинации растительных белков, такие как: соя+пшеница, в том числе с овощами – 18,5%, соя+горох+рис/пшеница – 9,3%; в составе сухих смесей для приготовления котлет наиболее часто встречается комбинация ячмень+растительный белок (80,0%); растительное «мясо» изготавливают из сои (53,6%), пшеницы (10,7%) или комбинации соя+пшеница (35,7%); наггетсы, в основном, производят из комбинации соя+пшеница (70,0%); в состав растительного фарша входит соя (87,5%) или

горох (12,5%); растительные крокеты (фалафель) предпочтительно состоят из нута (60,0%) или комбинации нут+горох/пшеница/овощи (40,0%).

Соя занимает доминирующее положение в решении глобального вопроса поиска и замены белка животного происхождения растительными альтернативами, которая также значитесь многофункциональной культурой с высоким содержанием белка (до 48%), что делает ее ключевым сельскохозяйственным сырьем стратегического назначения. В России соя возделывается отечественной селекцией, котирующаяся не только внутри страны, но и на мировом рынке ввиду

того, что не является генетически модифицированной, согласно исследованию Дорохова А.С. и др. [16]. В период с 2010 по 2018 год у сои наблюдается наибольший прирост объема мирового производства (30,5%); в настоящее время в мире выращивается 348,7 млн. тонн соевых бобов [17]. Согласно данным Росстата, в нашей стране с 2010 по 2019 год объемы производства сои выросли в 3,5 раза, с 1222,4 тонн в 2010 году до 4344,1 тонн в 2019 году, также в четыре раза увеличилась и посевная площадь.

Ранее нами было проведено исследование [18] для выявления потребительских предпочтений как основы разработки аналогов мясной продукции (500 чел.); выборку сформировали респонденты, придерживающиеся вегетарианства и веганства, в возрасте 26-45 лет. Анализ современного потребительского рынка позволил установить, наиболее предпочтительным видом полуфабрикатов являются котлеты (48,2% ответов), также было установлено, что 71,0% респондентов относятся положительно к аналогам мясных полуфабрикатов из сои. В связи с этим, для выявления целесообразности внедрения на потребительский рынок аналога мясного полуфабриката из продуктов переработки сои рассчитывался коэффициент полноты ассортимента K_n по отдельному признаку выбранного товара, т.е. по виду источника белка в котлетах (из продуктов переработки сои), как отношение действительного показателя полноты к базовому показателю по формуле:

$$K_n = \frac{P_n}{P_0} \times 100 \% \quad (1)$$

где P_0 – действительная полнота, т.е. количество разновидностей котлет, имеющихся в наличии; P_n – базовая полнота, т.е. количество разновидностей котлет, принятое за основу для сравнения и взятое из прайс-листов предприятий розничной торговли.

Значение составило $K_n=55,4\%$; это свидетельствует о том, что потребительский спрос котлет из продуктов переработки сои представлен в недостаточной степени и, соответственно, удовлетворен наполовину, что подтверждает целесообразность расширения ассортимента данного вида полуфабрикатов. Далее более подробно изучался состав и стоимость аналогов мясных котлет из сои.

На момент исследования соевые котлеты были представлены отечественными (70%) и зарубежными (30%) производителями в замороженном виде, из которых 38,9% аналогов мясных котлет содержали один источник белка – сою, в остальных случаях в составе котлет из сои использовались белковые добавки-обогазаторы (рис.3), среди которых самыми часто используемыми являются пшеница, горох и рис.

Наблюдается высокая стоимость аналогов мясных полуфабрикатов из продуктов переработки сои (рис. 4), что может сказаться на покупательной способности населения.

Так средняя цена соевых котлет российских производителей составляет 930 рублей за килограмм, а зарубежных производителей – 1800 руб./кг., в то время как средняя потребительская цена на мясные полуфабрикаты за 2019 год составляла 341 рублей за килограмм [19].

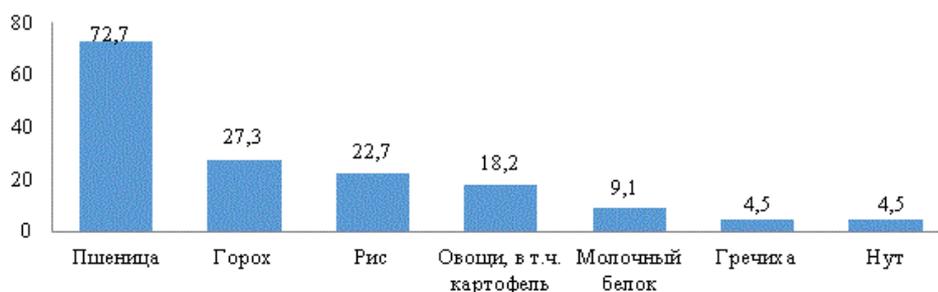


Рисунок 3 – Дополнительные источники белка в аналогах мясных котлет из продуктов переработки сои с различными добавками-обогазаторами

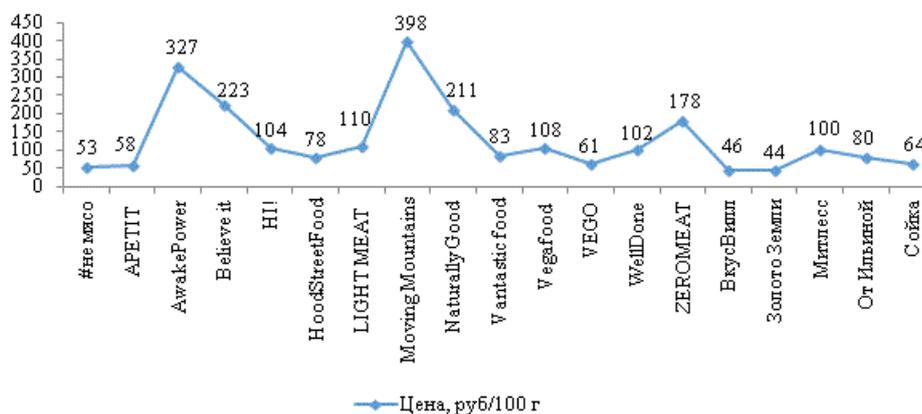


Рисунок 4 – Средняя стоимость котлет из соевого белка, представленных на российском рынке

Заключение. Российский рынок аналогов мяса находится в зачаточном состоянии, однако целевая аудитория уже сформировалась, в основном, за счет приверженцев вегетарианства и веганства. Также возможно потенциальное дополнительное увеличение спроса в периоды православных постов. Основной объем исследуемых аналогов мясных полуфабрикатов представлен российскими производителями под торговыми марками «Вкусное дело», «Мумлесс», «Сойка», Just COOK, Vegafood, Veganika, Vego. У новых игроков есть возможность занять свою нишу на стремительно растущем рынке ввиду отсутствия высокой конкуренции. Еще одним преимуществом является реализация данной продукции в розничной торговой сети, где пока еще наблюдается низкая наполненность полок с вегетарианской продукцией.

Несмотря на значительные улучшения вкуса и текстуры аналогов мясных продуктов, пищевая промышленность по-прежнему испытывает трудности с обеспечением правильного сенсорного восприятия, при этом растет спрос на экологически чистые, питательные ингредиенты с чистой этикеткой (*clean label*). Наиболее перспективным сырьем для аналогов мясной продукции является соя и зернобобовые. На основании данных о пищевой ценности аналогов мясных полуфабрикатов, представленных на рынке, и структуре ингредиентов, используемых при их производстве, актуальным будет использование в рецептуре аналогов мясных котлет из сои продуктов переработки овса, что позволит улучшить сенсорные характеристики, повысить содержание белка и пищевых волокон, при этом снизить себестоимость полуфабриката [20, 21].

Таким образом, актуальными направлениями для дальнейшего развития производства аналогов мясных полуфабрикатов являются:

- 1) улучшение рецептуры путем повышения функциональности белков и полезности;
- 2) поиск решений и новых способов обработки растительных белков для имитации «мясных» ощущений;
- 3) снижение цены на данный вид продукции и повышение удобства их применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Лунина О.И. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом // Теория и практика переработки мяса. 2018. Т. 3. № 1. С. 29-45. DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45.
2. Кузнецова О.В., Жукова А.Ю. Вегетарианские продукты – полезная диета или модный тренд? // Все о мясе. 2020. № 1. С. 34-36. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-1-34-36
3. Boukid F. Plant-based meat analogues: from niche to mainstream // European Food Research and Technology. 2020. С. 1-12.
4. Жебо А.В., Алешков А.В., Каленик Т.К. Технология и характеристика заменителей молока на растительной основе // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 4 (75). С. 25-31.
5. Николаев Д.В., Божкова С.Е., Забелина М.В., Смутнев П.В., Преображенская Т.С., Тюрин И.Ю. Технология производства паштетов путем замены мясного сырья растительными компонентами // Аграрный научный журнал. 2021. № 2. С. 49-54.

6. Lonkila A., Kaljonen M. Promises of meat and milk alternatives: an integrative literature review on emergent research themes // Agriculture and Human Values. 2021. С. 1-15. DOI: 10.1007/s10460-020-10184-9.

7. Tosun P., Yanar M., Sezgin S., Uray N. Meat substitutes in sustainability context: a content analysis of consumer attitudes // Journal of international food & Agribusiness Marketing. 2020. С. 1-23.

8. McClements D.J., Weiss J. A.J., Kinchla, Nolden A.A., Grossmann L. Methods for testing the quality attributes of plant-based foods: meat-and processed-meat analogs // Foods. 2021. Т. 10. № 2. С. 260.

9. McClements D.J., Grossmann L. The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. Volume 20, Issue 4 С. 4049-4100. DOI: 10.1111/1541-4337.12771

10. Mejia M.A., Harwatt H., Jaceldo-Siegl K., Soret S., Sabate J. The future of meat: exploring the nutritional qualities and environmental impacts of meat replacements // The FASEB Journal. 2016. Т. 30. № 1. С. 894-898.

11. Исследовательский центр компании «Делойт» [Электронный ресурс]. – Точка доступа: <https://www2.deloitte.com/> (дата обращения 12.05.2021)

12. Bohrer В.М. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products // Food Science and Human Wellness. 2019. С. 320-329.

13. Курбанов Р.Ф., Маракулина И.В. Маркетинговый анализ конкурентных предложений на рынке растительной мясоимитирующей продукции // Вестник аграрной науки. 2020. № 6 (87). С. 114-121. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.6.114.

14. Kyriakopoulou K., Dekkers B., Goot A.J. Plant-based meat analogues // Sustainable Meat Production and Processing. Academic Press. 2019. С. 103-126.

15. Анализ рынка мяса растительного в России. – М.: Аналитическое исследование компании «Discovery Research Group», 2021. – 122 с.

16. Дорохов А.С., Бельшклина М.Е., Большева К.К. Производство сои в Российской Федерации: основные тенденции и перспективы развития // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (47). С. 25-33.

17. Макарова А.А., Пасько О.В. Состояние мирового производства растительного сырья как перспективного источника белка для аналоговой мясной продукции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 3. С. 12-20. DOI: 10.14529/food200302.

18. Макарова А.А., Пасько О.В. Маркетинговые исследования потребительских предпочтений для разработки аналоговой мясной продукции // Индустрия питания. 2020. Т. 5. № 2. С. 21–28. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-2-3.

19. Цены в России. 2020: Стат. сб./ Росстат - М., 2020. – 147 с.

20. De Angelis D. Physicochemical and sensorial evaluation of meat analogues produced from dry-fractionated pea and oat proteins // Foods. 2020. Т. 9. № 12. С. 1754. DOI: 10.3390/foods9121754.

21. Дунченко Н.И., Свирина А.А., Волошина Е.С. Влияние овсяных хлопьев и толокна на органолептические свойства котлет из мяса птицы // Мясная индустрия. 2018. № 1. С. 43-45.

Статья поступила в редакцию 16.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0029

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА
(OHSAS 18001) НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

© 2021

Фролова Нина Анатольевна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»
Шкрабтак Наталья Викторовна, доктор технических наук,
и.о. зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»

Амурский государственный университет

(675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Аннотация. Профессиональный травматизм является серьезной проблемой во всем мире. В последние десятилетия применение таких подходов, как стандарты по сертификации систем управления профессиональным здоровьем и безопасностью (OHSMS), способствовало успешному контролю производственного травматизма в странах с высоким уровнем дохода. Серия стандартов оценки охраны труда и техники безопасности в контексте OHSAS 18001 получила значительное признание в большом числе организаций. Однако ее эффективность изучена недостаточно. В ходе выполнения работы было проведено исследование влияния внедрения системы OHSAS 18001 на показатели производственного травматизма, климата безопасности и практику охраны труда в компаниях. В ходе проведения исследований были выделены некоторые факторы, влияющие на эффективность OHSAS 18001, которые сформулированы в модель. Таким образом было установлено, что внедрение сертификации OHSAS 18001 не оказывает существенного влияния на уровень производственного травматизма. Результаты также показали, что принятие стандарта OHSAS 18001 улучшило документацию по управлению охраной труда, но не привело к постоянному совершенствованию требуемой практики. В ходе оценки собранных фактических данных были выявлены основные причины низкой культуры безопасности на некоторых предприятиях, а также подчеркнуты внутренние и внешние факторы, влияющие на эффективность системы охраны труда.

Ключевые слова: система управления, охрана труда, промышленная безопасность, модель.

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE IMPLEMENTATION OF THE OCCUPATIONAL
HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEM (OHSAS 18001) AT INDUSTRIAL ENTERPRISES**

© 2021

Frolova Nina Anatolyevna, candidate of technical sciences, associate professor of the department of life safety
Shkrabtak Natalya Viktorovna, doctor of technical sciences, acting head department of life safety
Amur State University

(675027, Russia, Blagoveshchensk, Ignatievskoe highway, 21, e-mail: ninelfr@mail.ru)

Abstract. Occupational injuries are a serious problem throughout the world. In recent decades, approaches such as the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) certification standards have contributed to the successful management of occupational injuries in high-income countries. The OHSAS 18001 Occupational Health and Safety Assessment Series has gained significant acceptance in a large number of organizations. However, its effectiveness has not been studied enough. In the course of the work, a study was carried out of the impact of the introduction of the OHSAS 18001 system on the indicators of industrial injuries, the safety climate and occupational safety practices in companies. In the course of the research, some factors influencing the effectiveness of OHSAS 18001 were identified, which were formulated in the model. Thus, it was found that the introduction of OHSAS 18001 certification does not have a significant impact on the level of industrial injuries. The results also showed that the adoption of OHSAS 18001 improved OSH management documentation, but did not lead to continuous improvement of the required practice. An assessment of the evidence collected identified the main causes of poor safety culture in some enterprises, and highlighted internal and external factors that affect the effectiveness of the OSH system.

Keywords: management system, labor protection, industrial safety, model.

Введение. Высокий и растущий в последние десятилетия уровень производственного травматизма привел к созданию и применению таких подходов, как система управления охраной труда (СУОТ) в контексте серии стандартов, содержащих требования и руководящие указания к разработке и внедрению систем менеджмента промышленной безопасности и охраны труда (СМПБиОТ), применение которых обеспечивает возможность организации управлять рисками в системе менеджмента и повышать эффективность её функционирования (OHSAS 18001) [1-7]. Эффектив-

ность системы OHSAS 18001 в компаниях России представляет определенный интерес, что позволило сформулировать цель настоящей работы.

Целью работы явилось исследование эффективности внедрения серии стандартов OHSAS 18001 на объективные показатели уровня производственного травматизма и охраны труда на предприятиях РФ.

Материалы и результаты исследования. Для проведения исследований был определён опросный метод при помощи электронной анкеты, которая была направлена на предприятия РФ, которые имеют сер-

тификацию OHSAS 18001. Объем выборки составил 17 предприятий различных регионов РФ, при этом 70% опрошенных составили контингент рабочих профессий, 20% составили респонденты аппарата управления, 10% - сотрудники обслуживающих профессий.

Управление охраной труда, как элементом безопасности, необходимо для минимизации рисков и потерь, а также улучшения производительности, экономических и финансовых результатов [8-12]. Управление охраной труда рассматривается как аспект организационного управления, который включает в себя широкий спектр технических и человеческих функций, необходимых для продвижения культуры безопасности. В соответствии с действующим законодательством работодатель несет ответственность за несчастные случаи, которые происходят на рабочем месте [13-15].

Проведенный анализ 17 предприятий РФ позволил

спроектировать модель факторов, влияющих на эффективность охраны труда в контексте OHSAS 18001 (рис. 1). Структурными элементами модели явились: обязательства руководства, обмен информацией, интеграция, обучение по охране труда, культуре безопасности, обеспечение соблюдения требований охраны труда, аудит и т.д.

Наиболее важным фактором, влияющим на эффективность OHSAS 18001, является обязанность руководства и организация работы по контролю за соблюдением и обеспечением охраны труда на предприятии [16-17]. В данном случае на всех анализируемых предприятиях выделены структурные единицы (менеджеры), которые занимаются в том числе вопросами безопасности. Было установлено, образование поверхностной системы OHSMS в исследуемых компаниях.

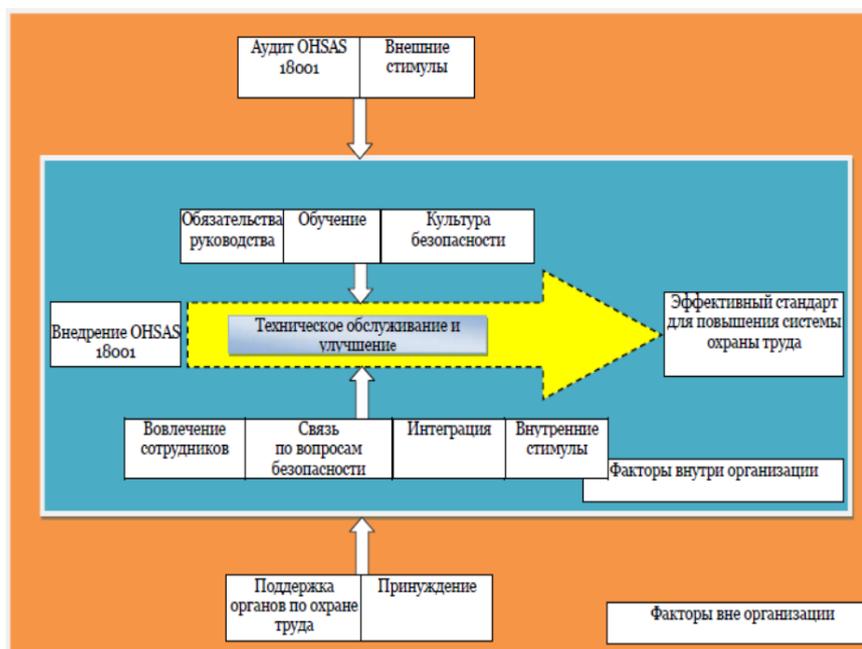


Рисунок 1 – Модель факторов, влияющих на эффективность охраны труда предприятий с OHSAS 18001

Также было отмечено, что в компаниях отсутствует внутренняя и внешняя коммуникация по вопросам безопасности. Отсутствует регулярное обновление сведений по вопросам безопасности труда. В рамках процедуры внутреннего обмена информацией сотрудники не консультируются и не вовлекаются в практики OHSAS 18001: идентификацию опасностей и оценку рисков; расследование инцидентов, а также предложения и применения мер контроля на их рабочих местах. Таким образом, сотрудники не понимают своих обязанностей, которые они несут в соответствии с OHSAS 18001.

Респонденты определили вовлеченность сотрудников как важный фактор в преобразовании документации (механическая система) в практику (операционная система). Один из участников отметил: «Практика OHSAS 18001 обычно рассматривается как дополнительная работа; поэтому мы не можем рассчитывать на успешную систему в нашей компании». Другой

участник добавил: «Внедрение требований OHSAS 18001 в компании создает огромное количество документации. Единственный способ превратить письменные процедуры OHSAS 18001 и инструкции по охране труда в практические привычки сотрудников - это использовать их на практике». Таким образом, без вовлечения сотрудников в практику OHSAS 18001/OHS требования стандарта остаются на бумаге.

Большинство участников подчеркнули, что обучение сотрудников технике безопасности и гигиене труда может повысить эффективность OHSAS 18001. Они заявили, что обучение сотрудников технике безопасности и гигиене труда - это непрерывный процесс. Использование различных методов обучения, таких как обучение на рабочем месте и вне его, размещение плакатов по охране труда, может помочь сотрудникам лучше понять принципы охраны труда.

Культура безопасности компании, принимающей OHSAS 18001, влияет на ее эффективность. Повыше-

ние культуры безопасности может быть достигнуто за счет предоставления высококачественного обучения технике безопасности и разъяснений процедур и инструкций OHSAS 18001 всему персоналу, особенно непосредственным сотрудникам. В противном случае система остается как система только на бумаге и не используется сотрудниками в повседневной практике. Участники опроса заявили, что внедрение OHSAS 18001 и сертификация ОС не являются сложными задачами. Необходимо больше времени для институционализации позитивной культуры безопасности, и персонал должен приложить больше усилий для замены небезопасного поведения безопасным. Один участник предложил: «Можно использовать программы поощрения, чтобы побудить сотрудников, которые уделяют больше внимания вопросам охраны труда и техники безопасности, и которые демонстрируют наилучшие результаты в области охраны труда, убеждать других сотрудников с готовностью соблюдать нормы OHSAS 18001».

Таким образом, применение дисперсионного анализа с повторными измерениями не показал результат и не продемонстрировал какого-либо эффекта от сертификации OHSAS 18001. Полученные результаты не подтверждают предыдущих исследований [18-20], которые указывают на снижение несчастных случаев от внедрения OHSAS 18001. Также, полученные результаты противоречат конечной цели стандарта OHSAS 18001 – обеспечение безопасного рабочего места и предотвращение производственных травм на предприятии. Возможным объяснением этого может быть то, что компании не выполняли и не соблюдали требования должным образом из-за недостаточной заинтересованности руководства и участия сотрудников. Другим аспектом возможно явилось то, что компании используют сертификацию OHSAS 18001 как рыночный сигнал для улучшения корпоративного имиджа в маркетинге. В заключении хотелось бы отметить, что внедрение стандарта в организации не может автоматически улучшить показатели безопасности. Для повышения эффективности работы OHSAS 18001 необходимо комплексно усиливать все структурные элементы модели и повышать культуру безопасности всех работников предприятия. Несоответствующий уровень основных элементов культуры безопасности, включая приверженность руководства, участие и консультации сотрудников, обмен информацией по вопросам безопасности и обучение технике безопасности, указывает на важную роль культуры безопасности в разработке эффективной системы безопасности и гигиены труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Черный, К.А. Обеспечение совместимости системы управления охраной труда с другими системами управления / К.А. Черный, Г.З. Файнбург // Безопасность и охрана труда. – 2017. – № 4(73). – С. 22-25.
2. Крюков, Н.П. Взаимосвязь системы управления охраной труда, системы управления профессиональными рисками и специальной оценки условий труда / Н.П. Крюков, С.А.

Жукова // Охрана и экономика труда. – 2014. – № 2(15). – С. 61-63.

3. Евтушенко, О.В. Усовершенствование системы управления охраной труда на предприятиях пищевой промышленности / О.В. Евтушенко // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2013. – № 11(89). – С. 228-232.
4. Солод, С.А. Применение экспертных систем в системе управления охраной труда на предприятии / С.А. Солод // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2014. – № 2(18). – С. 87-94.
5. Попков, А.М. Технологическая карта вида профессиональной деятельности как составная часть системы управления охраной труда / А.М. Попков // Безопасность и охрана труда. – 2014. – № 2(59). – С. 64-65.
6. Глаголев, Р.В. Внутренний аудит системы охраны труда как средство управления безопасностью организации / Р.В. Глаголев // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. – 2015. – № 1(4). – С. 16-18.
7. Донцов, С.А. Совершенствование системы внутреннего аудита управления охраной труда на предприятиях железнодорожного транспорта / С.А. Донцов, Е.Ю. Нарусова // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 2. – С. 122-126.
8. Стариков, А.В. Комплексные критерии оценки эффективности сложных систем организационного управления охраной труда и промышленной безопасностью / А.В. Стариков, У. А. Хлесткова // Инновационная наука. – 2015. – № 9(9). – С. 97-99.
9. Зайко, С.В. Система управления охраной труда / С. В. Зайко, О. А. Антонович // Метро и тоннели. – 2010. – № 6. – С. 34-35.
10. Бузуев, И.И. К вопросу совершенствования системы управления охраной труда / И.И. Бузуев // Science Time. – 2016. – № 2(26). – С. 82-86.
11. Yeow, P.H., & Goomas, D.T. (2014). Outcome-and-behavior-based safety incentive program to reduce accidents: A case study of a fluid manufacturing plant // Safety Science. – 2014. - No 70. - 429-437.
12. Yorio, P.L., & Wachter, J.K. 2014. The impact of human performance focused safety and health management practices on injury and illness rates: Do size and industry matter? // Safety Science. – 2014. – No 62. – pp. 157-167.
13. Yazdani, A., Neumann, P., Imbeau, D., Bigelow, P., Pagell, M., Wells, R. Prevention of musculoskeletal disorders within management systems: a scoping review of practices, approaches, and techniques // Applied Ergonomics. – 2015. – No 51. – pp. 255-262.
14. Wachter, J.K. & Yorio, P.L. A system of safety management practices and worker engagement for reducing and preventing accidents: An empirical and theoretical investigation // Accident Analysis & Prevention. – 2014. - No 68. – pp. 117-130.
15. Abad, J., Lafuente, E., & Vilajosana, J. An assessment of the OHSAS 18001 certification process: Objective drivers and consequences on safety performance and labour productivity // Safety Science. – 2013. - No 60. – pp. 47-56.
16. Bahari, S.F., & Clarke, S. Cross-validation of an employee safety climate model in Malaysia // Journal of Safety Research. – 2013. - No 45. – pp. 1-6.
17. Chen, C.F. & Chen, S.C. Measuring the effects of Safety Management System practices, morality leadership and self-efficacy on pilots' safety behaviors: Safety motivation as a mediator // Safety Science. – 2014. - No 62. – pp. 376-385.
18. Conchie, S.M., Moon, S., Duncan, M. Supervisors' engagement in safety leadership: Factors that help and hinder // Safety Science. – 2013. - No 51. - 109-17.
19. De Oliveira, O.J. Guidelines for the integration of certifiable management systems in industrial companies // Journal of Cleaner Production. – 2013. -- No 57. – pp. 124-133.
20. Hale, A., Borys, D., & Adams, M. Safety regulation: The lessons of workplace safety rule management for managing the regulatory burden // Safety Science. – 2015. - No 71 - pp 112-122.

Статья поступила в редакцию 16.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 159.9

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0030

О ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЯ ТРЕВОЖНОСТИ СОТРУДНИКОВ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНОЙ И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ СТАЖА РАБОТЫ

© 2021

Дворянов Александр Васильевич, преподаватель кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях»

Сайфетдинова Марьям Кяримовна, кандидат педагогических наук,

доцент кафедры «Гуманитарные дисциплины»

Бареева Румия Загимардановна, кандидат исторических наук,

доцент, доцент кафедры «Гуманитарные дисциплины»

Григорьев Петр Владимирович, магистр

Щуренкова Александра Петровна, магистр

Пензенский казачий институт технологий (филиал)

Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского

(Первый казачий университет)

(440026, Россия, г. Пенза, улица Володарского, д. 6,

e-mails: dvorianov-al@yandex.ru, s-small@bk.ru, rimulka058@yandex.ru)

Аннотация. Проблема тревожности сотрудников служб техносферной безопасности актуальна в контексте специфики их деятельности, связанной с риском с одной стороны и увеличивающегося количества стрессогенных факторов с другой. Разработка и внедрение мероприятий по выработке навыков борьбы с тревожностью, проводимая в организации, может способствовать сохранению психического здоровья человека и его продуктивной работоспособности. Основными задачами исследования является: определение сущности и основных показателей проявления уровня тревожности у сотрудников поисково-спасательной и техносферной безопасности; изучение выраженности тревожности; осуществление экспериментальной оценки и проведение корреляционного анализа уровня выраженности ситуативной и личностной тревожности; составление практических рекомендаций сотрудникам. В качестве испытуемых, в исследовании, приняли участие 20 сотрудников со стажем до 5 лет службы и 20 сотрудников со стажем от 10 лет в возрасте от 23 до 45 лет. Эмпирический анализ результатов, по методике изучения личностной и ситуативной тревожности, показал нам статистически значимые различия в уровнях выраженности тревожности у сотрудников поисково-спасательной службы с различным стажем профессиональной деятельности. Выявлено, что выраженность личностной и ситуативной тревожности выше у сотрудников с большим стажем, чем у молодых спасателей. Также рассматривались результаты сравнительного анализа ситуативной тревожности у сотрудников со стажем профессиональной деятельности больше 10 лет до и после проведения тренинговых занятий. Предложенный в исследовании методический инструментарий может быть использован при организации обучения по выработке навыков саморегуляции сотрудников поисково-спасательной службы.

Ключевые слова: тревога, тревожность, личная тревожность, ситуативная тревожность, гештальт, поисково-спасательная служба, саморегуляция.

ON THE DEPENDENCE OF THE LEVEL OF ANXIETY OF SEARCH-RESCUE AND TECHNOSPHERE SAFETY EMPLOYEES ON THE WORK EXPERIENCE

© 2021

Dvoryanov Alexander Vasilievich, lecturer, department of Protection in Emergency Situations

Sayfedinova Maryam Kyarimovna, candidate of pedagogical sciences,

associate professor of the Department of Humanitarian Disciplines

Bareeva Rumiya Zagimardanovna, candidate of historical sciences, associate professor,

associate professor of the Department of Humanitarian Disciplines

Grigoriev Petr Vladimirovich, undergraduate

Shchurenkova Alexandra Petrovna, undergraduate

Penza Cossack Institute of Technology (branch)

Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (First Cossack University)

(440026, Russia, Penza, Volodarskogo street, 6,

e-mails: dvorianov-al@yandex.ru, s-small@bk.ru, rimulka058@yandex.ru)

Abstract. The problem of anxiety of employees of technosphere security services is relevant in the context of the specifics of their activities, associated with risk, on the one hand, and an increasing number of stress factors, on the other. The development and implementation of measures to develop skills for dealing with anxiety, carried out in the organization, can contribute to the preservation of a person's mental health and his productive performance. The main objectives of the study are: to determine the essence and main indicators of the manifestation of the level of anxiety among the personnel of search and rescue and technosphere safety; study of the severity of anxiety; experimental assessment and correlation analysis of the level of severity of situational and personal anxiety; drawing up practical

recommendations for employees. As subjects, the study involved 20 employees with up to 5 years of service and 20 employees with 10 years of experience at the age from 23 to 45 years. An empirical analysis of the results, based on the method of studying personal and situational anxiety, showed us statistically significant differences in the levels of severity of anxiety among employees of the search and rescue service with different length of service. It was revealed that the severity of personal and situational anxiety is higher in employees with more experience than in young rescuers. The results of a comparative analysis of situational anxiety among employees with more than 10 years of professional experience before and after training sessions were also considered. The methodological tools proposed in the study can be used in organizing training to develop self-regulation skills for employees of the search and rescue service.

Keywords: anxiety, anxiety, personal anxiety, situational anxiety, gestalt, search and rescue service, self-regulation.

Введение. Каждый из нас испытывает чувство тревоги, особенно в стрессовых состояниях и экстремальных ситуациях, но для большинства - это временное состояние, которое очень быстро преодолевается [1-4]. Тема тревожности, с течением времени, становится все более актуальной. Связано это с ускорением темпа жизни и нарастающей цифровизацией общества, что сокращает время, которое человек может посвятить для изучения самого себя. При этом, не следует приуменьшать негативную роль культивирования «общества потребления», которое создает новые соблазны и проблемы. Особенно актуальна тема тревожности для представителей профессий, связанных с риском для жизни. Здесь тревожность играет роль дополнительного фактора, влияющего на состояние сотрудников поисково-спасательной службы и служб техносферной безопасности.

Тревога является одним из феноменов, через исследование которого, можно приблизиться к изучению своего внутреннего мира, мироощущения. Ее проявления существенно влияют на состояние человека, его работоспособность, характер взаимодействия с окружающим миром [2, с.56].

Рассматривая физиологические и эмоциональные проявления тревоги, следует отметить, что она может сопровождаться учащенным сердцебиением, мышечными напряжениями, потливостью, дрожью, головокружением, переживанием угрозы, движения человека приобретают хаотичный, суетливый характер. По мнению Лоры Перлз, такое поведение напоминает поведение младенца. Она писала про тревогу, что "это самая ранняя младенческая эмоция (Альтернатива ей - безразличие...)".

Тревогу можно рассматривать как эмоцию, так как ей присущи определенные процессы, свойственные проявлениям чувств на экспрессивно-мышечном, нейрофизиологическом и феноменологическом уровнях.

Тревога может быть следствием нарушения каких-либо физиологических процессов в организме, например, нарушением функционирования щитовидной железы.

Классики психологии и современные специалисты в этой области дают схожие определения, так З. Фрейд полагал, что тревога возникает в результате подавления сексуальных импульсов, рассматривал тревогу как защиту от проникновения бессознательного материала в сознание, а по мнению К.Г. Юнга - тревогой является "страх перед силой коллективного бессознательного" [5, 6]. А. Адлер, В. Райх и К. Хорни

разделяли понятия "страх" и тревога", по их мнению, возникновение страха связано с каким-то внешним объектом, а тревогу они связывали с угрозой самооценке.

В представлении бихевиористов - тревога есть подавленная агрессия, а экзистенциалисты рассматривали тревогу как состояние, возникающее при переходах с одного этапа в жизни на другой. В свою очередь, Гештальт понимает тревогу как задержанное, заблокированное возбуждение [7, с.322]. Под тревогой маскируются или если точнее, тревога ощущается вследствие блокировки различных эмоций. Это происходит следующим образом: мышцы, участвующие в дыхании оказываются в напряжении, причем и те, которые расширяют грудную клетку при вдохе и те, которые участвуют в выдохе. Почему так происходит? Человек не показывает окружающим, что взволнован, полностью не выдыхает, кислород требуется, а легкие уже заполнены. Дыхание носит поверхностный характер. Эмоция, вызывающая возбуждение не осознается, человек идентифицирует свое состояние как тревогу.

Тревога возникает тогда, когда возникает разрыв между настоящим и прошлым или будущим. Ф. Перлз писал "Тревога - это напряжение между сейчас и потом" [8, с. 34]. Допустим, вы тревожитесь, о том, что произойдет или что-то не так пойдет в каком-то деле, например в важной для вас встрече. Хотя как будет на самом деле никто не знает. Часто это опирается на предыдущий неблагоприятный опыт, который зачастую не осознается. Если в вашем сознании есть какая-то неприятная ситуация из прошлого, в которой были испытаны неприятные чувства, то попадая в какую-то мало-мальски схожую ситуацию могут проявиться признаки тревоги.

Если при страхе угрожающий объект очевиден и можно как-то на страх отреагировать, то при тревоге угрожающий объект неясен, отдален во времени, неочевиден.

Тревога может быть разной:

- ситуационной, связанной с какой-то конкретной ситуацией;
- проявлением какой-то длительной, неразрешенной ситуации;
- может являться личностной характеристикой.

Безусловно, справляться с тревогой каждый будет по своему, это зависит от личностных особенностей человека [9-10], но психологическая помощь в этом сложном вопросе сотрудникам экстренных служб должна быть оказана обязательно.

Целью статьи является эмпирическое изучение уровня тревожности у сотрудников поисково-спасательных служб и разработка методов ее психологической коррекции.

Материалы и результаты исследования. В нашем исследовании были применены следующие методы: метод тестов и метод математической обработки (*t*-критерий Стьюдента для независимых выборок). Используемая методика- исследование тревожности (Ч.Д. Спилбергера, адаптация Ю.Л. Ханин).

Анализ данных полученных в исследовании личностной и ситуативной тревожности по методике Ч. Д. Спилбергера – Ю. Л. Ханина показал, что у большинства специалистов с большим стажем профессиональной деятельности в поисковой службе и сотрудников служб техносферной безопасности имеются средние показатели личностной и ситуативной тревожности, а у большинства молодых специалистов с малым стажем профессиональной деятельности имеются низкие показатели личностной и ситуативной тревожности.

Низкий уровень ситуативной тревожности может быть связан с невысоким уровнем ответственности и вниманием к мотивам деятельности из-за еще столь непродолжительной профессиональной службы. Также низкая тревожность в тестовых показателях может быть следствием активного и осознанного подавления человеком высокого уровня тревожности с целью показать себя в «лучшем свете» и заработать почет в глазах сослуживцев.

Сравнительный анализ проявления ситуативной и личностной тревожности у сотрудников показал статистически значимые различия по низким и высоким уровням проявления ситуативной тревожности и

низкому и среднему уровню проявления личностной тревожности.

По представленным рисункам (рис. 1, 2) мы видим, что уровень проявления личностной тревожности у сотрудников с большим стажем профессиональной деятельности ниже, чем у более молодых сотрудников. Возрастает количество испытуемых со средним уровнем проявления личностной тревожности.

Так же мы может отметить, что уровень проявления ситуативной тревожности у испытуемых с большим стажем профессиональной деятельности тоже снижается.

Таким образом, в обоих случаях: и в случае личностной тревожности, и в случае ситуативной – уровень проявления стабилизируется.

Мы можем сделать вывод, что ежедневные столкновения с чрезвычайными ситуациями в экстремальных условиях, постоянные физические и эмоциональные напряжения вызывают у сотрудников повышенное чувство тревоги.

Результаты сравнительного анализа результатов контрольной группы до и после проведения тренинговых занятий (по методике исследования тревожности (Ч.Д. Спилбергер, адаптация Ю.Л. Ханин)).

Результаты сравнительного анализа личностной и ситуативной тревожности выявили статистически значимые различия по следующим показателям: низкий и средний уровень выраженности личностной тревожности, средний уровень ситуативной.

Это может говорить нам о том, что сотрудники, после прохождения тренинговых занятий, лучше стали осознавать свои эмоции и научились навыкам саморегуляции.

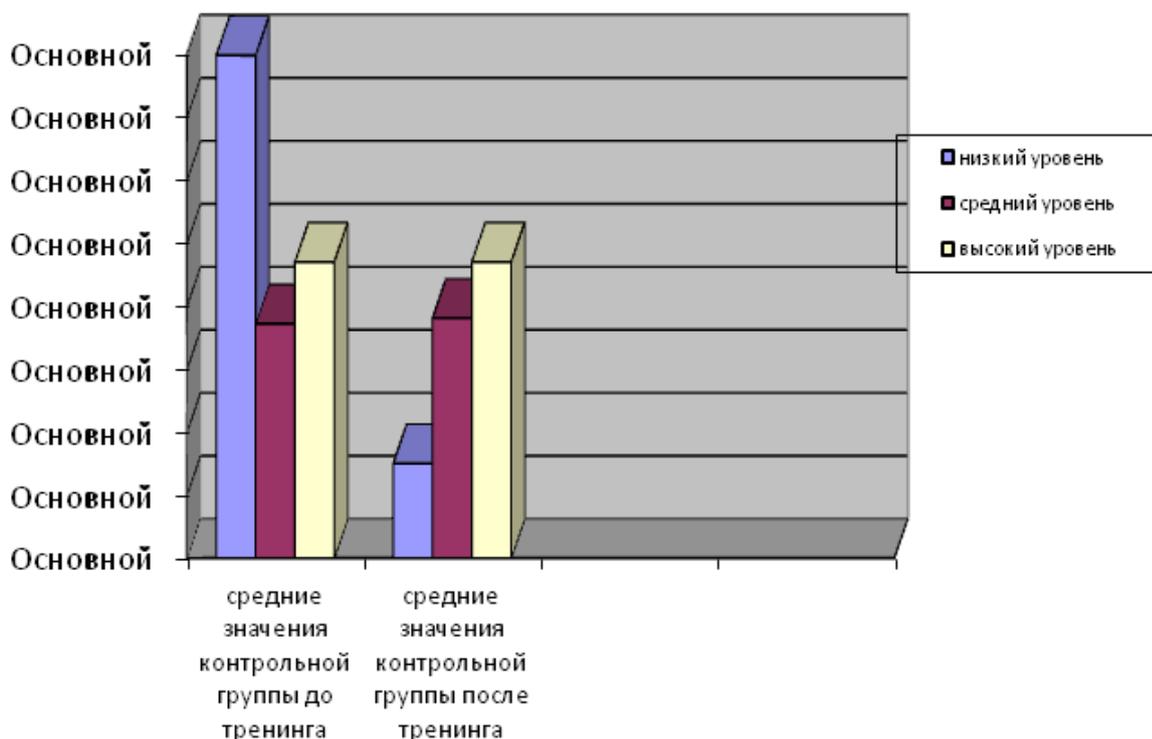


Рисунок 1 – Сравнительный анализ личностной тревожности у сотрудников со стажем профессиональной деятельности больше 10 лет до и после проведения тренинговых занятий.

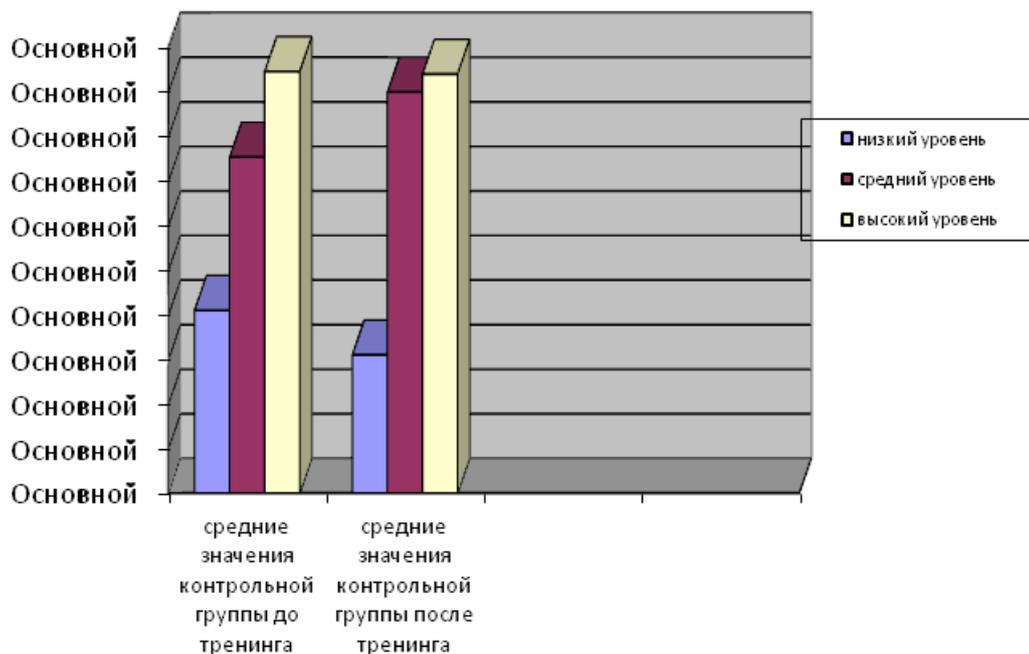


Рисунок 2 – Сравнительный анализ ситуативной тревожности у сотрудников со стажем профессиональной деятельности больше 10 лет до и после проведения тренинговых занятий

Заключение. К сожалению, избежать тревоги в современной жизни не удастся, тем более людям экстремальных профессий. Помочь справиться с ней, оставаясь в хорошей физической форме и психическом состоянии, а также эффективно выполнять поставленные задачи, связанные с риском для жизни, способствуют занятия на развитие навыков осознания своих эмоций и методов саморегуляции организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бессонова Ю.В., Броневицкий Г. Г. Психологическое благополучие представителей экстремальных профессий / Ю.В. Бессонова, Г.Г. Броневицкий // Психологические исследования личности: история, современное состояние, перспективы. Сер. «Труды Института психологии РАН». - М., 2016. - С. 326-351.
2. Бочкарева Л.П., Н.А. Виноградова, О.С. Виноградов, А.В. Темникова Психологические нюансы управления кадровыми ресурсами служащих / Организационно-экономические и инновационно-технологические проблемы модернизации экономики России: сборник статей IX Международной научно-практической конференции МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2020, С.55 - 58.
3. Бочкарева Л.П., Виноградов О.С., Виноградова Н.А., Морозова А.В., Гуляева Э.Ю. Подготовка кадровых военных с учетом психологических особенностей профессии // В сб.: Развитие рынка труда на современном этапе социально-экономических преобразований. Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2020. С. 25-28.
4. Назарова О.М., Аверьянова А.В. Психологические особенности служебной деятельности женщин-сотрудников МЧС // В сб.: Воспитание в современных условиях: региональный аспект. Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией М.А. Лыгиной, О.А. Логиновой, Л.Ю. Боликовой. 2018. С. 156-162.
5. З. Фрейд, "Психология бессознательного", М.: Просвещение, 1989- 448 с.
6. К. Юнг, Сборник статей по аналитической психологии, Лондон, 1920
7. Н.М. Лебедева, Е.А. Иванова "Путешествие в Гештальт: теория и практика" СПб.: Речь, 2004. С. 319-336
8. Ф. Перлз "Гештальт семинары" Институт общегумани-

тарных исследований Москва, 1998. 326 с

9. Бареева Р.З., Назарова О.М., Виноградов О.С., Виноградова Н.А. Особенности личностного поведения в кризисных ситуациях // В сб.: Государство, общество, личность: история и современность. Сборник статей III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 6-10.

10. Шнайдер Р.И., Аверьянова А.В. Влияние внешних факторов на психологический климат в служебном коллективе пожарно-спасательного подразделения МЧС России // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. 2018. № 1 (4). С. 33-37.

Статья поступила в редакцию 16.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 629.3

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0031

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

© 2021

Виноградов Олег Станиславович, кандидат технических наук,
заведующий кафедрой "Защита в чрезвычайных ситуациях"

Виноградова Наталья Александровна, кандидат технических наук,
заведующий кафедрой "Гуманитарные дисциплины"

Завалин Владимир Викторович, магистрант

Ульянов Алексей Алексеевич, магистрант

Пензенский казачий институт технологий (филиал)

*Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского
(Первый казачий университет)*

(440026, Россия, г. Пенза, улица Володарского, д. 6,

e-mails: fox-bbs@mail.ru, woinova53@mail.ru, rimulka058@yandex.ru)

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопросов повышения техносферной безопасности для производств, производящих нанесение металлических покрытий методом электролиза. Электрохимические цеха используют большое количество солей металлов, которые попадают в сточные воды. Объем стоков у таких производств очень велик из-за большого количества различных промывных операций. Снизить количество сточных вод, при этом существенно уменьшив их токсичность, можно применив рекомендации, приведенные в статье. Так, возможен подбор электролитов с невысоким коэффициентом экологической опасности, а применение определённого сочетания промывного и улавливающего оборудования позволит снизить общий объем сточных вод и поможет организовать замкнутый водооборотный цикл. Кроме того, извлеченные из стоков компоненты можно вернуть обратно в технологический цикл при помощи локальных систем очистки, которые устанавливаются на технологической линии, не допуская смешивания потоков. В статье приводится описание компьютерной программы, облегчающей выбор наименее опасной композиции технологических растворов и подбор оптимальной системы промывки с минимизацией сточных вод. Применение программного обеспечения позволяет минимизировать затраты на модернизацию электрохимических цехов, т.к. показывает возможность использования уже имеющегося оборудования в комплекте с вновь приобретаемым. Переход производства на экологически чистый путь развития сопряжен с финансовыми затратами, поэтому любая возможность экономии чрезвычайно важна. Рассматриваемое программное обеспечение дает возможность выбора оптимальных вариантов с точки зрения экологии, а задача человека, используя эти данные, создать экономически обоснованный и безопасный производственный процесс.

Ключевые слова: техносферная безопасность, коэффициент экологической опасности, электрохимическое производство, сточные воды, программное обеспечение, металлические покрытия, токсичность.

WAYS TO IMPROVE THE TECHNOSPHERE SAFETY OF ELECTROCHEMICAL INDUSTRIES

© 2021

Vinogradov Oleg Stanislavovich, candidate of technical sciences,
head of the Department "Protection in Emergency Situations"

Vinogradova Natalia Alexandrovna, candidate of technical sciences, head of the Department of "Humanities"

Zavalin Vladimir Viktorovich, undergraduate

Ulyanov Alexey Alekseevich, undergraduate

*PKIT (f) of the Moscow State Technical University named after V. G. Razumovsky (First Cossack University)
(6 Volodarsky Street, Penza, 440026, Russia,*

e-mails: fox-bbs@mail.ru, woinova53@mail.ru, rimulka058@yandex.ru)

Abstract. The article is devoted to the consideration of the issues of improving technosphere safety for industries producing metal coating by electrolysis. Electrochemical plants use a large amount of metal salts that end up in wastewater. The volume of effluent from such industries is very large due to the large number of different washing operations. To reduce the amount of wastewater, while significantly reducing its toxicity, you can apply the recommendations given in the article. So, it is possible to select electrolytes with low environmental hazard coefficients, and the use of a certain combination of washing and trapping equipment will reduce the total volume of wastewater and help organize a closed water circulation cycle. In addition, the components recovered from the effluents can be returned back to the process cycle using local treatment systems that are installed on the process line, preventing mixing of the streams. The article describes a computer program that facilitates the selection of the least hazardous composition of technological solutions and the selection of the optimal flushing system with minimization of wastewater. The use of software allows you to minimize the cost of upgrading electrochemical shops, because shows the possibility of using existing equipment in a set with a newly purchased one. The transition of production to an environmentally friendly development path is associated

with financial costs, so any opportunity for savings is extremely important. The software under consideration makes it possible to select the optimal options from the point of view of ecology, and the human task, using this data, is to create an economically sound and safe production process.

Keywords: technosphere safety, environmental hazard coefficient, electrochemical production, waste water, software, metal coatings, toxicity.

Введение. Электрохимические производства, с позиций техносферной безопасности, представляют реальную опасность окружающей среде не только в случае аварийных ситуаций, но и при обычном сливе стоков на городские очистные сооружения. Несмотря на старания, прилагаемые на стадиях заводской очистки, в стоках продолжают присутствовать растворимые соли и органические включения [1-4]. Основными причинами этому являются методы, применяемые для нейтрализации стоков, и, конечно, сами технологические процессы, производящие огромное количество загрязненной воды.

Риск возникновения чрезвычайной ситуации в промышленных условиях, в связи с износом оборудования и низкой квалификацией сотрудников, довольно высок [5-6], а в условиях использования высококонцентрированных растворов электролитов повышается вероятность еще и химического поражения работающих, поэтому необходимо изучать и внедрять способы снижения техносферной опасности.

Рассматривая возможность снижения уровня влияния на окружающую среду можно выделить три направления: снижение объема стоков, применение локальных методов очистки, позволяющих производить рекуперацию солей металлов с возвратом их в технологический цикл, а также применение наименее опасных композиций растворов. Внедрение каждого из направлений связано с внесением серьезных изменений в структуру технологических процессов и требует внимательного отношения к каждой конкретной производственной линии.

На основании особенностей технологического процесса нанесения металлического покрытия из того или иного электролита можно подобрать оптимальный вариант минимизации сточных вод и организовать максимально возможный замкнутый водооборотный цикл.

Целью работы является определение путей сокращения негативного влияния электрохимических производств на техносферу и окружающую среду в целом.

Материалы и результаты исследований. Для осуществления перевода электрохимических производств на экологически чистый путь развития необходимо пересмотреть существующие технологические процессы и используя материалы новейших исследований скорректировать процессы. Точнее, даже не сами процессы, а ряд условий их осуществления.

Первым условием является возможность применения наименее опасных, с экологической точки зрения, композиций технологических растворов и электролитов для электроосаждения металлов и сплавов. При этом необходимо руководствоваться методикой оцен-

ки экологической опасности как отдельных компонентов, так и совместной опасностью всего раствора. В настоящее время практически по каждому виду металлических покрытий существует довольно большой список составов растворов для электроосаждения. При этом, составы электролитов сильно отличаются как по производительности, так и по входящим в них вспомогательным веществам (комплексообразователи, компоненты, повышающие электропроводность и рассеивающую способность растворов и т.д.).

Для каждого вида покрываемых изделий необходимо учитывать условия их эксплуатации и, согласно предъявляемым к ним требованиям, подбирать соответствующее покрытие металлом или сплавом. Возможность выбора не ограничивается только металлическими покрытиями, можно рассмотреть возможность введения полимерных добавок и т.д. Безусловно, такие задачи должны решаться при заключении договора на осуществление покрытия. Поэтому здесь важным условием является компетентность персонала предприятия. Если же вид покрытия определен изначально, то перед производителями стоит не менее сложная задача по подбору растворов для проведения всех операций. Конечно, можно поступить проще и, используя годами проверенные технологические растворы, осуществить процесс по-старинке. Только вот про экологическую безопасность такого способа можно будет забыть. На протяжении последних десятилетий, электрохимические производства как раз из-за такого подхода и являются одними из самых неблагоприятных с точки зрения техносферной безопасности. Именно они служат одними из главных поставщиков ионов различных металлов в наши водоемы.

Рассматривая возможность замены технологических растворов на наименее токсичные композиции, необходимо обладать определенным запасом (базой) информации. Поэтому, здесь проще использовать компьютерные программы по выбору типа электролита в зависимости от вида покрытия. Таким подспорьем может служить программное обеспечение, представленное на рисунке 1. Здесь программа предлагает с учетом вида наносимого металла или сплава произвести выбор технологического раствора для его нанесения, при этом учитывается толщина требуемого покрытия, требования к внешнему виду (блестящее, полублестящее или матовое), требования по скорости электроосаждения, коэффициент экологической опасности раствора в целом.

Вторым условием является создание максимально замкнутых водооборотных циклов. В связи с тем, что электрохимические цеха сбрасывают большое количество сильно загрязненных стоков, необходимо предусмотреть возможность их регенерации или реку-

перации. Уже имеется положительный опыт внедрения определенной последовательности промывных и улавливающих операций, позволяющих значительно сократить объем стоков. Однако, для каждой технологической линии приходится просчитывать большое количество возможных комбинаций установки соответствующего оборудования (каскадного (КП), бескаскадного (П) методов промывки горячей или холодной водой, учитывать установку одного или нескольких уловителей (У), порядок промывки и т.д.). Целесообразнее поручить вычислительные операции компьютеру [7-9]. Вводя данные по производительности

линии (F), коэффициенту уноса (q), начальной и желаемой концентрации основной соли (C_o, C_n) можно рассчитать объем воды при различных комбинациях промывного и улавливающего оборудования (рис. 2).

Однако, удобнее объединить указанные вычисления в одну программу, добавив при этом возможность обмена ранее полученными данными по составу электролитов.

Таким образом, в той же программе, где и был осуществлен выбор технологического электролита будет произведен расчет выбора схемы промывки с учетом возможности установки уловителей (рис. 3).

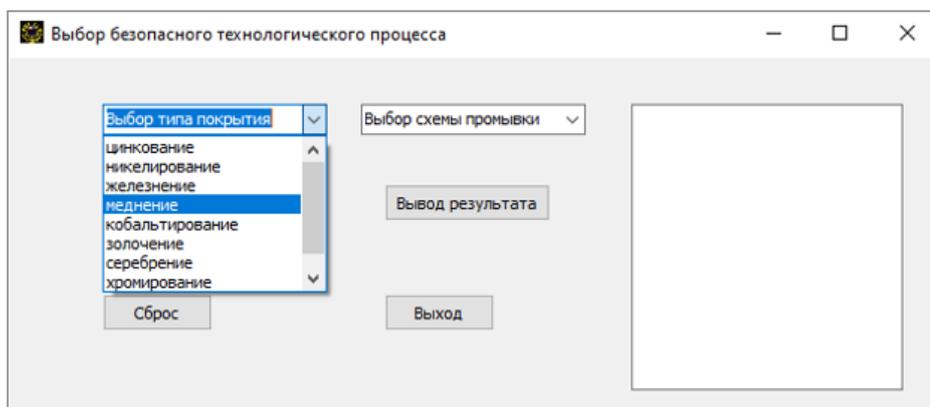


Рисунок 1 – Интерфейс программы с выбором типа покрытия

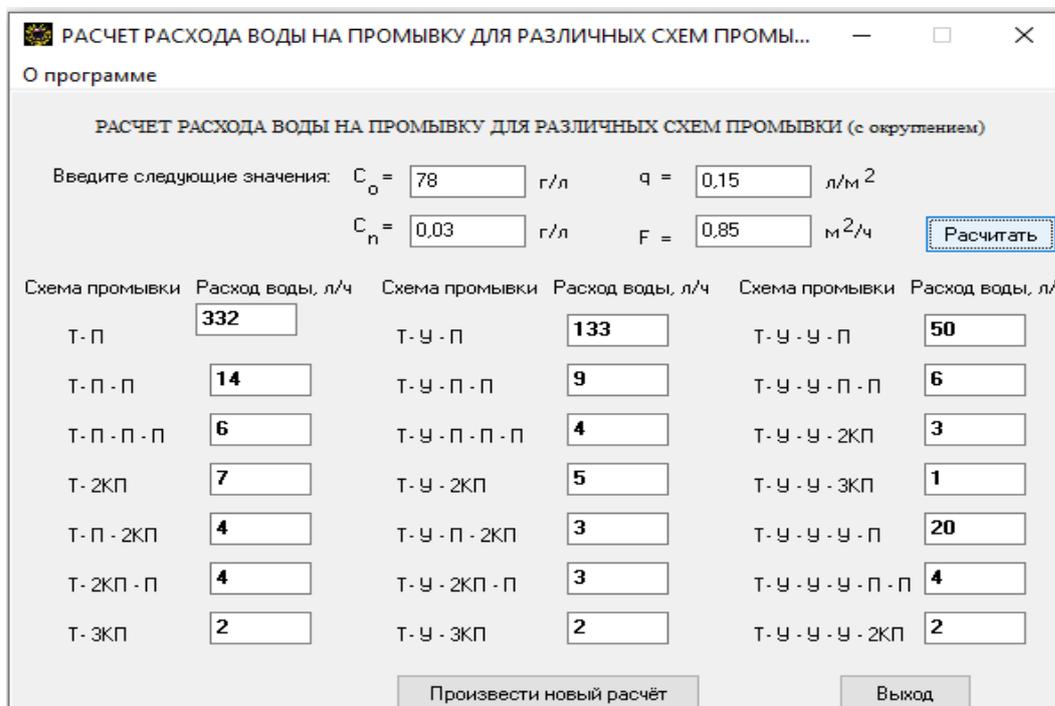


Рисунок 2 – Интерфейс программы по расчету расхода воды на промывку

Программа сама подберет наиболее подходящие варианты с учетом минимизации стоков. Однако, выбор все равно остается за человеком, ведь программа не учитывает экономические затраты на установку оборудования или закупку того или иного состава электролита. Поэтому программа не дает единственное решение, она предлагает выбор вариантов. Но это именно экологически оправданные варианты! И, за-

частую, этого вполне достаточно, чтобы значительно снизить экологическую опасность от электрохимического цеха за счет снижения общего объема стоков или возможности организации замкнутого водооборотного цикла.

Несмотря на положительные результаты внедрения комбинаций промывного и улавливающего оборудования на стадиях нанесения покрытий элек-

трохимическим способом, остается проблема со стоками с других операций и частью загрязненной воды, которую не удастся вернуть в технологический цикл. Здесь нужны серьезные очистные системы. Это третье условие перевода цехов на экологически чистый

путь развития. В связи с тем, что стоки от одной технологической линии обладают определенным набором компонентов, их можно улавливать, обеззараживать и утилизировать. Для этого можно использовать локальную очистку.

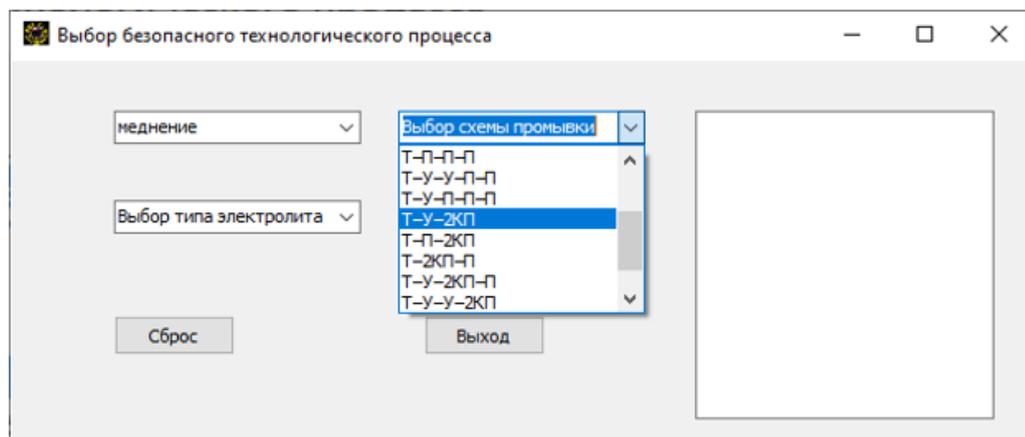


Рисунок 3 – Интерфейс программы с выбором схемы промывки

Безусловно, установка локальных очистных систем у каждой линии задача не из дешевых, однако, все зависит от того, что именно мы можем извлечь из стоков и каким образом это утилизировать. К примеру, цветные металлы вполне можно восстановить и использовать повторно, снижая тем самым стоимость очистки стоков.

В любом случае, возможность повторного использования ценных компонентов, попавших в сточную воду, гораздо экологичнее, чем существующая в настоящее время практика применения реагентной системы очистки. При такой системе происходит первоначальное смешение всех видов стоков (за исключением цианистых, роданистых и определенных хромосодержащих), добавление реагентов, вызывающих осаждение металлов в виде гидроксидов или карбонатов, их отделение (чаще фильтрованием) и вывоз на полигон для захоронения. В итоге, мы имеем большой объем загрязненной воды, которую нельзя использовать в технологических процессах из-за высокого содержания тонких взвесей и остаточного соледержания, да и осадок, который вывозится на полигон, не пригоден для переработки, т.к. извлекать из него отдельные виды металлов экономически нецелесообразно. При такой системе очистки происходит вторичное загрязнение стоков самими реагентами, флокулянтами (для ускорения отстаивания), а также щелочами и кислотами (для доведения необходимой величины кислотности). Но, к сожалению, именно такой способ очистки сточных вод гальванических производств сейчас является самым распространенным из-за своей низкой себестоимости.

В качестве локальной системы очистки можно рекомендовать системы электрофлотации, мембранной очистки, электролиза, выпаривания и другие, наиболее подходящие под конкретный технологический процесс [10-12]. Основным критерием выбора здесь будет являться экономическая и производственная

целесообразность. При этом, установки локальной очистки позволят с максимальной пользой извлекать все ценное, что ранее просто выбрасывалось, но при этом их использование ограничено финансовыми затратами на установку и обслуживание. Поэтому подходить к выбору конкретной системы надо крайне внимательно.

Электрохимические производства сейчас являются крайне востребованными в связи с бурным развитием высокотехнологичной техники, поэтому заниматься вопросами техносферной безопасности надо уже с этапов создания самих цехов гальванопокрытий и металлизации плат печатного монтажа. Проектируя каждый технологический участок надо обращать внимание на возможность установки локальных систем очистки с целью создания замкнутых систем водопотребления и рекуперации ценных компонентов растворов. Грамотно выбранная установка локальных систем очистки на каждой технологической линии может оказаться намного эффективнее общезаводских систем, поэтому ее подбор поможет и сэкономить на закупке сырья и воды, а также снизить нагрузку на очистные сооружения.

Работа, направленная на снижение техносферной опасности электрохимических производств, не ограничивается стенами предприятий, она должна быть поддержана на государственном уровне. Такой подход позволит решить финансовые вопросы перевооружения действующих предприятий и снизить угрозы экологического характера для прилегающих территорий.

Заключение. В заключении можно сказать, что применение различных способов снижения техносферной опасности электрохимических производств не ограничивается вышеперечисленными, ведь можно применить ряд дорогостоящих методов очистки сточных вод и с легкостью очищать стоки до требований ПДК, и ниже. К примеру, комбинации адсорбционного и ионообменных методов дают удивительные резуль-

таты, вот только стоимость такой очистки зачастую дает такую прибавку к себестоимости продукции, что производителями просто не рассматривается как вариант.

Применение компьютерной программы для работы по выбору наиболее экологичного пути производства — это простой и удобный путь. Однако, база данных такой программы должна постоянно обновляться, не только с учетом выхода новых перспективных растворов, но и с учетом новых знаний по экологической опасности веществ. Работа над вопросами безопасности должна продолжаться и внедрение экологически наименее опасных технологий должно быть экономически выгодно самим предприятиям. Для этого необходима программа государственной поддержки как крупных, так и средних предприятий, специализирующихся на производстве металлических покрытий электрохимическим способом. Сокращение количества сточных вод и уменьшение их токсичности, наряду с улучшением экологической ситуации в самих цехах гальванопокрытий — это серьезный шаг к переходу таких предприятий от категории основных загрязнителей к экологически малоопасным объектам хозяйствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kobyа M.A., Erdem N.A., Demirbas E.B., 2015. Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using iron electrodes. *Desalination and Water Treatment*, Vol. 56: P. 1191-1201.
2. Benvenutia T. et al., 2014. Recovery of nickel and water from nickel electroplating wastewater by electrodialysis. *Separation and purification technology*, V. 129: P.106-112
3. Scarazzato T. et al., 2015. Treatment of wastewaters from cyanide-free plating process by electrodialysis. *Journal of cleaner production*, V. 91: P. 241-250.
4. Ferguson G., 2015. Deep injection of waste water in the western Canada sedimentary Basin. *Groundwater*, V. 53: 184-194.
5. Горин С.С., Паршина А.Ю., Мартынюк В.А., Гуляева Э.Ю. Комплекс мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций // *E-Scio*. 2019. № 3 (30). С. 85-91.
6. Гурковская Е.А., Богданова А.Ю., Кургузёнок И.Ю., Качан О.Б. Техносферная безопасность на эстакадах нефтеналивных участков нефтебаз // В сборнике: Национальная безопасность в эпоху Индустрии 4.0 Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-методической конференции с международным участием. Под редакцией И.В. Палаткина, И.С. Санду. 2019. С. 142-151.
7. Казаков В.А., Виноградова Н.А., Виноградов О.С., Боклашов Н.М. Моделирование движения автооператора в целях повышения эффективности ванн улавливания. *Экономика и управление*. 2012. № 3 (77). С. 120-125.
8. Ахтямов Р.Г., Елизарьев А.Н., Вдовина И.В., Планида Ю.М., Хаертдинова Э.С. Применение сетевых моделей при планировании аварийно-спасательных и других неотложных работ. / Р.Г. Ахтямов и др. / Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2012. - №2. - С. 29 – 34
9. Виноградов О.С., Виноградова Н.А., Гуляева Э.Ю., Полудняков А.И. Программное обеспечение по расчету уровня загрязнения при техногенных авариях // *Сурский вестник*. 2019. №2 (6). С. 31-3
10. Petrinic et al., 2015. A feasibility study of ultrafiltration/ reverse osmosis (UF/RO)- based wastewater treatment and reuse in the metal finishing industry. *Journal of cleaner production*, V. 101: 292-300.
11. Гурковская Е.А., Кургузёнок И.Ю., Богданова А.Ю., Качан О.Б. Стратегия повышения качества жизни населения с позиций техносферной безопасности // В сборнике: Формирование и реализация стратегии устойчивого экономического

развития Российской Федерации. Сборник статей IX Международной научно-практической конференции. 2019. С. 140-144.

12. K. Do, J. Walder SF., 2018. *Journal of Environmental and Earth Science* An Evaluation of technologies for Reduction of Wastewater from Plating Industry in Vietnam, 1: 1-8

Статья поступила в редакцию 16.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 543.399

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0032

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ СОЕДИНЕНИЯМИ УРАНА

© 2021

Пашинин Валерий Алексеевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Химия и инженерная экология»,

Ануфриева Светлана Михайловна, старший преподаватель кафедры «Химия и инженерная экология»
ИУЦТ, Российский университет транспорта РУТ (МИИТ)
(127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, e-mails: pashininmiit@yandex.ru, miitkh@yandex.ru)

Панфилова Марина Ивановна, кандидат химических наук, доцент кафедры ФиСА
Леонова Данута Амброжьевна, старший преподаватель кафедры «Физики и строительной динамики»
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mails: 012340@mail.ru, danuta1960@yandex.ru)

Ефремова Сания Юнусовна, доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»
Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: s_sharkova@mail.ru)

Аннотация. Представлена разработка способа экспресс-обнаружения растворимых соединений урана в воде. Предлагаемый способ заключается в распылении в сосуд с пробой воды индикаторной рецептуры из аэрозольного устройства путём многократного нажатия на головку насоса-распылителя. При этом за счёт создаваемого вакуума идет образование и распыление монодисперсного аэрозоля индикаторной рецептуры. При наличии в воде растворимых соединений урана практически мгновенно во всём объеме пробы воды появляется характерный индикаторный эффект – красно-оранжевое окрашивание пробы. Определена чувствительность метода обнаружения загрязнения воды соединениями урана с помощью аэрозольного устройства, составляющая не менее 0,05 масс. %. По предлагаемому способу могут быть определены растворимые соли как радиоактивного Урана-235, так и малорадиоактивного Урана-238. При этом в пробе воды, не содержащей растворимых соединений урана, или содержащих их в меньших концентрациях (холостая проба) появляется слабое лимонно-жёлтое окрашивание.

Ключевые слова: аэрозольное устройство; загрязнение воды, индикаторная рецептура, индикаторный эффект, метод обнаружения; соединения урана, экспресс-обнаружение.

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETECTING WATER POLLUTION
BY URANIUM COMPOUNDS**

© 2021

Pashinin Valery Aleksevich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the department of Chemistry and Engineering Ecology

Anufrieva Svetlana Mikhailovna, senior lecturer of the department of Chemistry and Engineering Ecology
IUTC, Russian University of Transport RUT (MIIT)
(127994, GSP-4, Moscow, Obratsova Str., 9, p. 9, e-mails: pashininmiit@yandex.ru, miitkh@yandex.ru)

Panfilova Marina Ivanovna, candidate of chemical Sciences, associate professor of the Department of FISA
Leonova Danuta Ambrogiana, senior lecturer of the department «Physics and building aerodynamics»
Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye Shosse 26, e-mail: e-mails: 012340@mail.ru, danuta1960@yandex.ru)
Efremova Sania Yunusovna, doctor of biological Sciences, professor,
professor of the department of Biotechnology and technosphere security
Penza state University of technology
(440039, Russia, Penza, baidukova passage/Gagarin street, 1A / 11, e-mail: s_sharkova@mail.ru)

Abstract. The development of a method for express detection of soluble uranium compounds in water is presented. The proposed method consists in spraying into a vessel with a sample of water indicator formulation from an aerosol device by repeatedly pressing on the head of the spray pump. At the same time, due to the vacuum created, a monodisperse aerosol of the indicator formulation is formed and sprayed. In the presence of soluble uranium compounds in the water, almost instantly in the entire volume of the water sample, a characteristic indication effect appears - a red-orange staining of the sample. The sensitivity of the method of detecting water contamination by uranium compounds using an aerosol device, which is not less than 0.05 masses, has been determined.%. According to the proposed method, soluble salts of both radioactive Uranus-235 and low-radioactive Uranus-238. At the same time, in a sample of water that does not contain soluble uranium compounds, or contain them in lower concentrations (blank sample), a weak lemon-yellow staining appears.

Keywords: aerosol device; water pollution, indicator formulation, indication effect, detection method; uranium compounds, express detection.

Введение. Актуальность работы заключается в том, что в связи с развитием атомной энергетики увеличивается количество радиоактивных отходов, которые требуют своевременной их утилизации. Как радиоактивный уран, так и радиоактивные отходы, содержащие малорадиоактивный изотоп Урана-238 являются сильно ядовитыми веществами и могут привести к онкологическим заболеваниям [1-3]. В последнее время участились аварии на различных предприятиях ядерного цикла, связанных с использованием и переработкой соединений урана, которые оказывают негативное влияние не только на людей, но и на окружающую среду.

В качестве примера можно рассмотреть катастрофу, произошедшую на четвёртом энергоблоке Чернобыльской атомной электростанции, случившуюся в ночь с 25 на 26 апреля 1986 года в Украине. Она стала самой крупной и масштабной аварией за всю историю атомной энергетики. В качестве основного топлива на АЭС использовался радиоактивный изотоп Уран-235. В результате аварии огромное количество различных радиоактивных веществ попало в атмосферу и выпало на почву, вследствие чего природе был нанесен непоправимый, колоссальный ущерб на сотни лет вперёд. При аварии произошло загрязнение радиоактивным ураном как большой территории, так и близлежащих водных объектов.

Радиационная авария в несколько меньших размерах произошла также в Японии на атомной электростанции в Фукусиме, следствием чего было загрязнение радиоактивными отходами больших объёмов воды в Тихом океане.

Во всех случаях инциденты (аварии) с радиоактивными и химически опасными веществами, к которым относятся и соединения урана, причиняется большой ущерб людям и экологии в целом, вследствие чего возникает необходимость определять наличие химически-опасных веществ не только на поверхности, но и в воде. В данной работе рассмотрены способы экспресс-обнаружения наличия соединений урана в воде, так как вода – одно из самых распространенных веществ на Земле. Проблемы загрязнения воды довольно актуальны в современном мире. В настоящее время существует большое количество источников загрязнения воды и своевременное их обнаружение поможет предпринять меры по ликвидации химически опасных веществ в кратчайшие сроки, с наименьшими потерями и избежать множество проблем в дальнейшем.

Ранее уже в ряде работ рассматривались различные методы обнаружения загрязнённости воды соединениями урана [4-6].

Но предложенные методы не позволяют провести анализы непосредственно в месте пробоотбора, довольно сложны в выполнении и требуют наличия довольно дорогостоящего аппаратного оформления.

Объектом исследования в данной работе служат уран и его соединения, которые вызывает радиоактивное и химическое загрязнение воды.

Целью данной работы является разработка метода экспресс-обнаружения загрязнения воды соединениями урана непосредственно в месте пробоотбора с применением индикаторных рецептур в аэрозольных устройствах.

Для достижения цели исследования, были поставлены следующие научные задачи:

1. Исследование и разработка способа экспресс-обнаружения соединений урана в воде.

2. Определение чувствительности метода обнаружения загрязнённости воды соединениями урана с применением индикаторной рецептуры в аэрозольном устройстве.

В данной статье рассматривается метод экспресс-обнаружения соединений урана. Ранее были описаны способы обнаружения агрессивных химических веществ и производных диметилгидразина с помощью индикаторных рецептур, помещённых в аэрозольные устройства [7-8].

Распыление индикаторной рецептуры осуществляется путём многократного нажатия на головку насоса-распылителя. При этом за счёт образующегося вакуума происходит распыление монодисперсного аэрозоля индикаторной рецептуры.

В основу разрабатываемого метода был положен способ, предложенный в патенте на изобретение [9]. Он позволяет проводить обнаружение загрязнённости поверхностей объектов как самим металлическим ураном, так и его соединениями.

Обнаружение нерастворимых соединений урана по предложенному способу осуществляется следующим образом:

– на анализируемую поверхность с помощью первого аэрозольного устройства путём двух-трёх нажатий на головку насоса-распылителя наносится 10-15% водный раствор азотной кислоты, служащий для перевода нерастворимых соединений урана в растворимую форму;

– через 1-2 минуты на анализируемую поверхность, обработанную раствором азотной кислоты, с помощью второго аэрозольного устройства аналогичным образом производят распыление индикаторной рецептуры, содержащей 15-20% водный раствор ацетата натрия и насыщенный водный раствор салицилата натрия в объёмном соотношении 1:1;

– практически сразу после нанесения индикаторной рецептуры на анализируемую поверхности наблюдают появление оранжево-красного окрашивания, которое свидетельствует о загрязнении поверхности соединениями урана;

На неокрашенных объектах обнаружение соединений урана проводят непосредственно на поверхности контролируемого объекта.

Для окрашенных объектов, когда индикационный эффект маскируется окраской поверхности, обнаружение соединений урана проводят на фильтровальных дисках, которые приводят в соприкосновение с этой поверхностью и протирают их после нанесения на поверхность водного раствора азотной кислоты.

Затем на эти диски с помощью второго аэрозольного устройства наносят индикаторную рецептуру и наблюдают появляющийся индикационный эффект.

Преимущества данного способа перед другими заключаются в следующем:

- значительно большая определяемая площадь контроля при одном обнаружении (25-30 кв.см);
- практически мгновенное обнаружение соединений урана;
- отсутствие необходимости использования вспомогательного оборудования и дополнительных операций по подготовке реактивов и отборе проб;
- возможность обнаружения соединений урана на различных, в том числе труднодоступных поверхностях.

Предложенный способ обнаружения соединений урана обладает следующие основными характеристиками:

- длительность сохранения индикационного эффекта - не менее 30 минут;
- пороговая чувствительность обнаружения загрязнённости поверхности – не менее 0,05 мг/кв.см.;
- способ сохраняет работоспособность в интервале температур 0-50°C;

Способ может использоваться для обнаружения просыпей (проливов) отходов отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и урансодержащих соединений на различных объектах ядерного энергетического цикла (получение ядерного топлива, транспортировка и утилизация ОЯТ), а также в организациях, работающих с соединениями урана на уровне существующих требований [10].

Данный способ прост в использовании, так как для его выполнения могут быть использованы широко распространенные материалы и химические реактивы, а малое время обнаружения позволит своевременно принять необходимые меры защиты и проконтролировать степень безопасности объекта. Недостатком данного способа является то, что он служит только для обнаружения соединений урана на поверхностях различных объектов.

Материалы и результаты исследования. В основу предлагаемого нами метода экспресс-обнаружения соединений урана в пробах воды было также поло-

жено распыление индикаторной рецептуры на основе водного раствора ацетата натрия и салицилата натрия с помощью аэрозольного устройства непосредственно в отобранную в пробоотборник пробу воды с последующим наблюдением индикационного эффекта. Для этого использовалось аэрозольное устройство АУ-9/2.

Результаты:

1. Определение чувствительности метода обнаружения загрязнённости воды соединениями урана с помощью аэрозольного устройства АУ-9/2.

На рисунке 1 изображено Аэрозольное устройство для обнаружения соединений урана АУ-9/2 (вид спереди и сзади) и характер индикационного эффекта от соединения урана (вид спереди, вид сверху).

Для каждого раствора было распылено одинаковое количество аэрозоля индикаторной рецептуры из аэрозольного устройства АУ-9/2 (3 нажатия).

1. 0,1% раствор – хорошо наблюдаемый индикационный эффект, окраска красно-оранжевая;
2. 0,01% раствора – окраска чуть заметна;
3. 0,005% раствора – окраска на уровне холостой.

Сравнительный анализ:

Так как в растворе 0,01% эффект чуть заметен, был приготовлен раствор с концентрацией 0,05 масс. %.

В полученный раствор соли урана мы распыляем точно такое же количество аэрозоля из аэрозольного устройства АУ-9/2 (3 нажатия), как и в предыдущую серию концентраций. На рисунке 2 мы можем наблюдать, что в присутствии соли уксуснокислого урана в концентрации 0,05% наблюдается желто-оранжевая окраска.

Для наглядности на рисунке предоставлена холостая проба и раствор с минимально определяемой концентрацией соединения урана 0,05% , при которой наблюдается визуально заметный индикационный эффект, так же концентрация раствора 0,1% для сравнения.

Наш исходный раствор 1% уксуснокислого урана при взаимодействии с индикаторной рецептурой аэрозольного устройства АУ-9/2 - имеет красно коричневую окраску.

На рисунке 3 мы можем наблюдать как отличается индикационный эффект пробы с соединениями урана от холостой пробы.

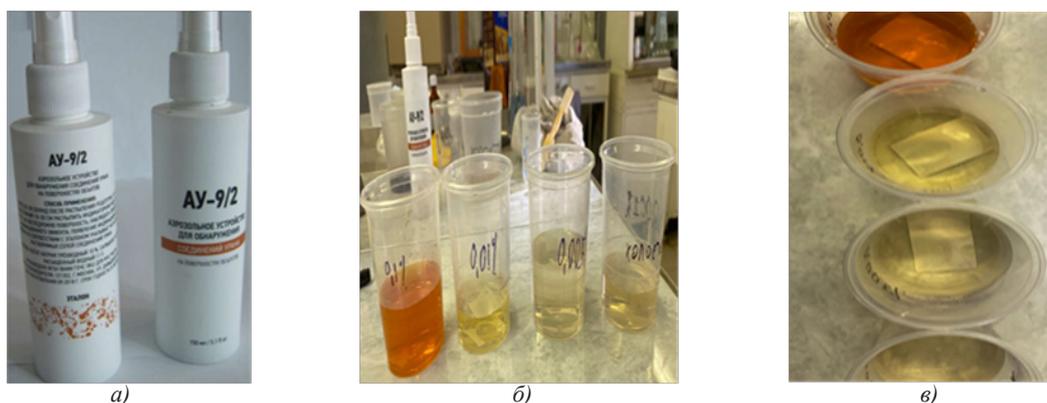


Рисунок 1 – Аэрозольное устройство для обнаружения соединений урана АУ-9/2 и характер индикационного эффекта: а) АУ-9/2 (вид спереди) б;в) индикационный эффект от различных концентраций водного раствора уксуснокислого урана)

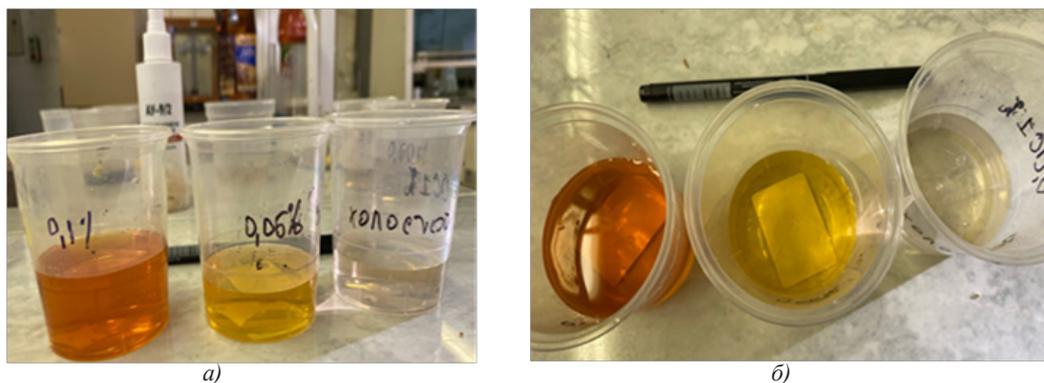


Рисунок 2 – Индикационный эффект от растворов уксуснокислого урана: а) вид спереди; б) вид сверху

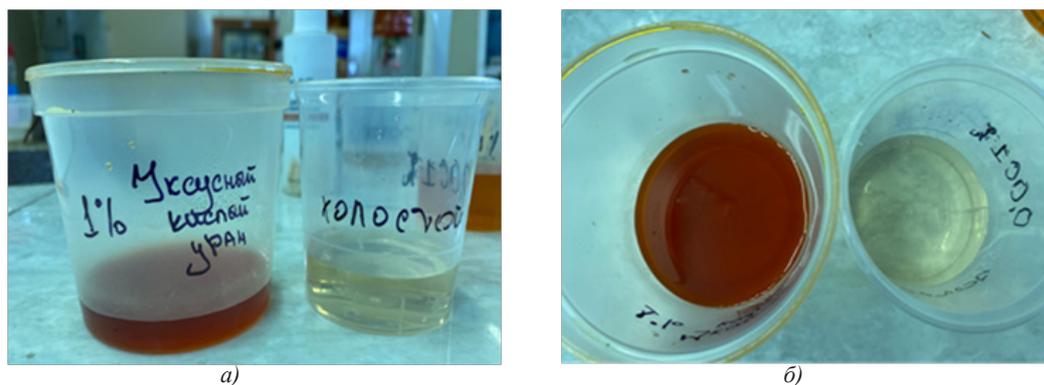


Рисунок 3 -Индикационный эффект от раствора уксуснокислого урана и холостая проба, а) вид спереди; б) вид сверху.

Как следует из рисунков 1-3, использование аэрозольного устройства АУ-9/2 позволяет непосредственно практически мгновенно определить наличие в воде водного раствора уксуснокислого урана с концентрацией масс. 0,05% и более. При этом наблюдается характерная красно-оранжевая окраска в соответствии с эталоном окраски, нанесенным на аэрозольное устройство АУ-9/2.

Так же с помощью данного метода можно обнаружить как растворимые соли урана (нитраты, ацетаты и другие) так и плохо растворимые соединения урана путем перевода их в растворимый нитрат урана. Для этого пробу предварительно необходимо обработать аэрозольным устройством АУ-9/1 с 10% раствором азотной кислоты.

Заключение. Предложен новый метод экспресс-обнаружения загрязнения воды соединениями урана в аэрозольном устройстве, который может быть использован на объектах ядерного энергетического цикла. Помимо этого, предлагаемый метод позволяет обнаружить соединения урана за время не более 2-3 минут не только в водных растворах, но и на поверхностях, что позволит принять соответствующие меры защиты.

Показано, что использование аэрозольных устройств позволяет непосредственно практически мгновенно определить наличие в воде соединений урана в установленных концентрациях. При этом в пробах воды будет наблюдаться характерный индикационный эффект. Время сохранения индикационного эффекта

составляет не менее 30 минут.

Преимущество метода заключается в следующем:

- повышенная чувствительность обнаружения;
- удобство использования;
- возможность проведения обнаружения непосредственно в месте контроля без необходимости использования дополнительных комплектующих;
- длительное время сохранения индикационного эффекта;
- одной заправкой аэрозольного устройства может быть проведено не менее 100 обнаружений.

Данный метод может быть реализован при дальнейшей модернизации разработанной для МЧС России портативной химической экспресс-лаборатории модульного типа ПХЛ МТ, которая в 2018 году успешно прошла предварительные и государственные испытания [11-13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сухононченко, Д.С. Изменение естественного радиационного фона в пределах урбанизированных и промышленных комплексов [Текст] / Д.С. Сухононченко // Экологические системы и приборы. – 2008. № 2. – С. 22 – 25.
2. Химия актиноидов: в 3 томах [Текст]: Т. 1 / Пер. с англ.; Под ред. Дж. Каца, Г. Сибборга, Л. Морсса.- М.: Мир, 1991.- С. 525.
3. Ядерная энциклопедия [Текст]. – М.: Изд-во «Благовторительный фонд Ярошинской», 1996.- 656 с.
4. В.И. Гуменюк, А.В. Куликович, Хемилюминесцентный экспресс-контроль соединений урана в природных водах, Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование, № 4, 2011, стр. 178-186
5. А.О. Аллен Радиационная химия воды и водных растворов [Текст] /А.О. Аллен / Пер с англ, под ред. П.И. Долина.

– М.: Атомиздат, 1963. – С. 203.

6. А.П. Виноградов, Аналитическая химия урана [Текст] / А.П. Виноградов. – М.:Изд-во АН СССР, 1962. – С. 433.

7. V.V. Tatarinov, V. A. Pashinin, M.A. Kovalenko Rapid detection of contamination of objects and water surfaces by aggressive chemicals and uranium compounds Sino-Russian ASRTU Forum Ecology and environmental sciences, Section 4, 20–23 October 2020, Ekaterinburg, Russia

8. V.V.Tatarinov, V.A. Pashinin, P.N. Kosyrev "The method of group express detection of aggressive chemical substances in water." AIP Conference Proceedings. Vol. 2318. No. 1. AIP Publishing LLC, 2021.

9. Способ экспресс-обнаружения Урана и его соединений [Патент на изобретение № 2367945 МПК G01N 31/22. Дата подачи 06.03.2008. Опубликовано 20.09.2009]. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2367945C1> (дата обращения: 17.02.2021).

10. СанПин 2.1.4.559-96 [Утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 24 октября 1996 г. № 26]. – URL: <http://water.mechanik.spb.ru/normativ/sanpin/sanpin2.1.4.559.96.pdf> (дата обращения: 25.01.2021).

11. В.А. Пашинин, П.Н. Косырев, И.А. Пушкин, Н.Н. Посохов «Совершенствование комплекта аэрозольных устройств для экспресс-обнаружения соединений урана и аварийно-химически опасных веществ на поверхностях различных объектов», Технологии гражданской безопасности, Т.12, 2015, № 1 (43), Стр. 36-40, Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).

12. В.А. Пашинин, П.Н. Косырев, И.А. Пушкин, Н.Н. Посохов, Н.П. Валувев «Перспективные методы и средства экспресс-контроля степени зараженности поверхностей: технологии и пути развития», Технологии гражданской безопасности, Т.13, 2016, № 4 (50), Стр. 60-53, Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).

13. В.А. Пашинин, П.Н. Косырев, Н.Н. Посохов «Портативная химическая экспресс-лаборатория модульного типа для индикации агрессивных химических веществ на поверхностях объектов», Технологии гражданской безопасности, Т.16, 2019, № 2 (69), Стр. 16-22, Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).

Статья поступила в редакцию 26.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 614.841.1

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0033

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ УСТАНОВЛЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА

© 2021

Лебедев Андрей Юрьевич, кандидат технических наук,
доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз
Бельшина Юлия Николаевна, кандидат технических наук, доцент,
начальник кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз
Черушов Игорь Викторович, кандидат технических наук
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149,
e-mails: lebedev@igps.ru, belshina.y@igps.ru, und58@yandex.ru)

Аннотация. Работа посвящена анализу результатов исследования скорости прохождения ультразвука в природных каменных материалах, подвергнутых термическому воздействию. Объекты исследования: природные образцы травертина и сланца в условиях высоких фиксированных температур. Описан алгоритм экспериментов, используемое оборудование, визуальные результаты наблюдений за морфологическими признаками образцов: их структурой и степенью повреждений в результате термического воздействия. Обработка собранных экспериментальных данных осуществлялась с применением методов математической статистики. Выявлены регрессионные зависимости скорости прохождения ультразвуковой волны от воздействия высоких фиксированных температур в образцах травертина и сланца, с учётом случайных колебаний и факторов статистических ошибок. Проведенные исследования подтверждают эффективность применения ультразвуковой дефектоскопии, по сравнению с визуальными методами анализа повреждений природных каменных материалов в результате фиксированных термических воздействий. Результаты работы рекомендуются к практическому применению при решении задач пожарно-технической экспертизы в полевых и лабораторных условиях.

Ключевые слова: метод ультразвуковой дефектоскопии, каменные материалы, исследование пожара.

STUDY OF ACOUSTIC PROPERTIES OF NATURAL STONE MATERIALS IN PURPOSE OF ESTABLISHING A FIRE FOCUS

© 2021

Lebedev Andrey Yuryevich, candidate of technical sciences,
associate professor of the «Forensic science and engineering expertise department»
Belshina Yuliya Nikolayevna, candidate of technical sciences, associate professor,
head of the «Forensic science and engineering expertise department»
Cherushov Igor Viktorovich, candidate of technical sciences
St. Petersburg University State Fire Service EMERCOM of Russia
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovskiy prospect, 149,
e-mails: lebedev@igps.ru, belshina.y@igps.ru, und58@yandex.ru)

Abstract. The work is devoted to the analysis of the results of studying the speed of ultrasonic transmission in natural stone materials under thermal action. Research object: natural travertine and shale samples in high fixed temperatures conditions. The experiment algorithm, equipment, visual results of observations of the samples morphological attributes (their structure and damage grades as a result of thermal action) are described. Experimental data processing was carried out mathematical statistics using. The regression dependences of the ultrasonic wave spreading speed were revealed (on the effect of high fixed temperatures in travertine and shale samples): random fluctuations and statistical errors factors is taken into consideration. The research confirms ultrasonic flaw detection effectiveness in comparison with visual damage analyzing methods for natural stone materials under fixed thermal actions. Authors recommends research results for practical using for solving fire-technical expertise problems in a laboratory or afield.

Keywords: acoustic analysis method, stone materials, fire investigation.

Введение. Среди материалов, которые позволяют оценить динамику развития горения на пожаре по результатам исследования их субстанциональных свойств, большой интерес представляют каменные материалы. Они сохраняются на месте пожара, происходящие в них изменения могут быть оценены различными инструментальными методами, полученные результаты могут быть источником информации о распространении горни из очага пожара. В пожарно-технической экспертизе исследование каменных материалов отно-

сится к одним из наиболее применяемым видам исследований. С одной стороны, существуют различные лабораторные методы, которые позволяют детально изучить характер происходящих в них изменений, по которым можно четко диагностировать температуру нагрева. С другой, существуют полевые методы, которые на основе исследования характеристик разрушения поверхности, судить о сравнительной степени нагрева материалов в разных зонах пожара [1 – 4].

В классических методиках пожарно-технической

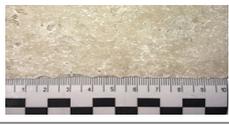
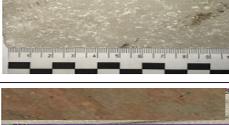
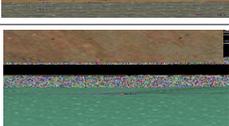
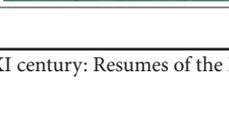
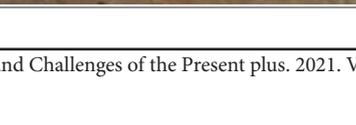
экспертизы в качестве объектов исследования рассматриваются различные искусственные каменные материалы на основе гипса, цемента, извести, а также силикатный кирпич. Такие материалы содержат связанную воду, при нагреве она испаряется, что приводит к разрушению. Для таких материалов в качестве полевого метода исследования большое распространение получила ультразвуковая спектроскопия. Методик исследования природных каменных материалов в пожарно-технической экспертизе нет, поэтому данное направление является весьма актуальным, поскольку в последнее время применение таких материалов в строительстве и внутренней отделке помещений весьма распространено [2 – 6].

Целью статьи является представление результатов работы по изучению эффективности ультразвуковой дефектоскопии для установления температурных ха-

рактеристик природных каменных материалов в рамках пожарно-технической экспертизы.

Материалы и результаты исследования. В качестве первого объекта исследования был выбран природный каменный материал – травертин, вторым – сланец. Из материалов нарезались образцы, размерами 15×10×1 см. Образцы подвергали термическому воздействию: каждый образец помещался в разогретую до фиксированной температуры муфельную печь и выдерживался 30 минут. В исследовании применялся ультразвуковой тестер *УК1401М*. Поскольку травертин относится к известнякам [7], происходящие в нём изменения, в первую очередь, будут касаться появления трещин, связанных с процессами дегидратации. Разложение компонентов может приводить к изменению цвета, что и подтверждают наблюдаемые визуальные изменения травертина до и после нагрева (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты визуального исследования образцов травертина и сланца после обработки в печи

Травертин	Сланец	Описание температурных условий
		образец в исходных условиях
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 200 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 300 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 400 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 500 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 600 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 700 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 800 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 900 °С
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 1000 °С

При нагреве до 200 – 300°C визуальных изменений травертином не произошло, не изменился ни цвет образцов ни целостность. Это вполне ожидаемо, учитывая известковую природу материала. По визуальным изменениям структуры образцов видно, что изначально травертин до температуры 300°C при выдержке в 30 минут не изменял своих морфологических свойств. С 400°C до 500°C травертин серел и образовывал вкрапления, после 600°C камень стал темно-серым с выраженным вкраплением.

Как известно из литературных источников [4 – 7], и как видно из исследования основные изменения в структуре травертина происходили от 400°C до 1000°C. После нагрева свыше 700°C травертин начинает крошиться и рассыпаться, что свидетельствует о полном исключении кристаллической воды.

По данным визуальным признакам можно примерно оценивать степень термических поражений конструкций из естественных строительных каменных материалов. Гораздо эффективнее, можно определять степень термического поражения и ориентировочную температуру нагрева природного каменного материала не по визуальным данным, а по результатам исследования с помощью специальных приборов и оборудова-

ования.

По визуальным признакам изменениям структуры образцов видно, что уже изначально сланец при температуре в 300°C и выдержке в 30 минут в муфельной печи с электронным терморегулятором начал изменять свои морфологические свойства.

После 500°C на природной каменном материале сланце появились более выраженные рыжие пятна, структура камня не изменилась, вкрапления стали еще темнее.

После 700°C природный сланец стал рыжим с выраженными темно-рыжими пятнами, структура не изменилась, трещин и расколов материала не наблюдается, вкрапления ярко выражены.

Визуальные изменения травертина показали появление в нем микро- и макротрещин сопровождается изменением его акустических характеристик, которые можно оценить, изучая скорость прохождения через образец поверхностной ультразвуковой волны. При температурах нагрева до 300°C значение скорости прохождения ультразвуковой волны меняются мало, поэтому рассматривать данный диапазон для построения регрессионных зависимостей не имеет смысла (рис. 1).

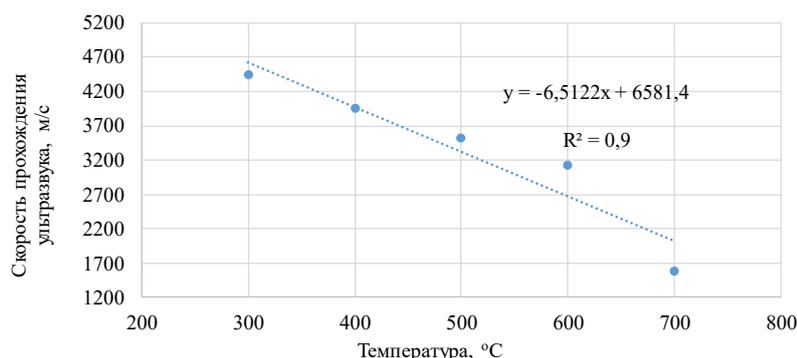


Рисунок 1 – Регрессионная зависимость скорости ультразвука от температуры травертина

В диапазоне 300 – 700°C зависимость скорости прохождения поверхностной ультразвуковой волны от температуры нагрева материала носит практически линейный характер, достоверной аппроксимации составляет 0,90.

Таким образом, удалось получить зависимость температуры от скорости прохождения поверхностной ультразвуковой волны, которую можно использовать на месте пожара для ориентировочного определения температуры нагрева конструкций.

Для оценки полученных результатов была проведена их статистическая обработка. Для 15 параллельных измерений каждого из образцов были рассчитаны дисперсии по выборке и критерий Кохрена. В качестве критического значения критерия Кохрена принято значение, равное 0,403 [8]. Для всех образцов полученные значения критерия Кохрена находились в пределах критического значения это свидетельствует о том, что полученные эмпирические данные представляют собой равномерную выборку, различия данных

лежат в рамках случайных колебаний и не превышают статистическую ошибку, такие различия не критичны, поэтому в данном случае измерения можно сравнивать между собой.

Следующим этапом стала оценка значимости различий в скорости прохождения ультразвуковой волны для образцов, выдержанных при разных температурах. Для этого использовали *t*-критерий.

При расчёте *t*-критерия (табл. 2) за критическое значение принимается значение, равное 3,18.

Таблица 2 – Результаты расчёта *t*-критерия по каждому сравниваемому массиву данных

Номер сравниваемого массива данных	Номер сравниваемого массива данных				
	2	3	4	5	6
1	8,33	12,33	22,01	22,13	101,14
2		6,06	13,04	15,26	57,20
3			4,86	8,07	32,14
4				4,11	31,04
5					19,64

Из данной таблице видно, что при сравнении результатов измерения образцов, подвергавшихся температурному воздействию выше 200°C, наблюдаются значения t -критерия намного выше критического. Можно сказать, что разница скорости прохождения ультразвука в образцах, выдержанных при разных температурах, превышает погрешность измерения и может считаться значимой, при разнице температур 100°C.

Визуальные изменения сланца показали отсутствие трещин на поверхности, которые можно было зафиксировать визуально. Камень выдерживал высокотемпературный нагрев, менялся цвет, но сами образцы не разрушались.

Исследование образцов с помощью ультразвуково-

го тестера показало, что изменение скорости прохождения ультразвука при нагреве, характерно и для этого материала.

В диапазоне 300 – 700°C зависимость скорости прохождения поверхностной ультразвуковой волны от температуры нагрева материала носит практически линейный характер, достоверной аппроксимации.

Эмпирическая зависимость температуры от скорости нагрева сланца представлена на рисунке 2. Достоверность аппроксимации составляет 0,96.

Значение критерия Кохрена полученные при статистической обработке результатов исследования данного образца находятся в пределах критического значения. Результаты расчета t -критерия представлены в таблице 3.

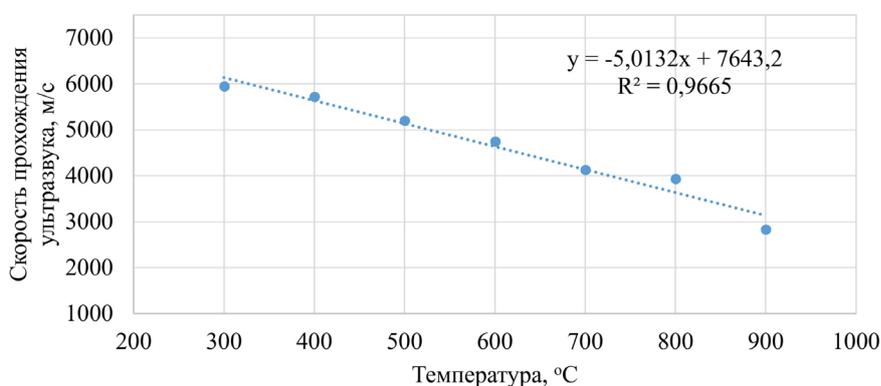


Рисунок 2 – Регрессионная зависимость скорости ультразвука от температуры сланца

Таблица 3 – Результаты расчёта t -критерия по каждому сравниваемому массиву данных

Номер сравниваемого массива данных	Номер сравниваемого массива данных								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1		2,03							
2			3,53						
3				2,62					
4					13,56				
5						33,41			
6							35,83		
7								55,61	
8									45,35

* составлено автором

Заключение. В случае сланца, как и в случае травертина, разница между измерениями для образцов, отличающихся температурой нагрева на 100°C – значима, метод позволяет четко отличить образцы по степени их разрушения при нагреве. Проведённые исследования показали эффективность применения ультразвуковой дефектоскопии для исследования природных каменных материалов при решении задач пожарно-технической экспертизы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Галишев М. А., Бельшина Ю. Н., Дементьев Ф. А. Пожарно-техническая экспертиза. СПб.: 2014. 453 с.
2. Сикорова Г. А., Лебедев А. Ю., Дементьев Ф. А., Галишев М. А., Чешко И. Д., Бельшина Ю. Н. Полевые инструментальные методы исследования объектов пожарно-технической экспертизы. СПб.: 2018. 160 с.
3. Милешина Е. В. Исследование естественных каменных материалов в пожарной экспертизе. Сборник: Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности. Матери-

алы III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 67–70.

4. Основы криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий: учебное пособие / под ред. В. Г. Савенко. – М.: ЭКЦ МВД России, 1993–208 с.

5. Долгушина Л. В., Лагунов А. Н., Ефремов И. Г., Гапоненко М. В. О возможностях пожарно-технической экспертизы при анализе строительных материалов. Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2017. № 2 (5). С. 9-13.

6. Погодаева О. О., Ковалько А. С., Плотнокова Г. В., Селезнев В. Ю. Исследование отделочных материалов при производстве пожарно-технической экспертизы. Сборник: Деятельность правоохранительных органов в современных условиях. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию образования института. 2013. С. 271–275.

7. Боганчикова Е. А. Применение травертина в современном строительстве. Сборник: Международная научно-техническая конференция молодых учёных БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. 2014. С. 78 – 83.

8. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. Пер. с нем. – М.: Мир, 1994. – 268 с.

9. Ловчиков В. А. Физико-химические методы экспертного исследования. Лабораторный практикум: учебное пособие. / В.А. Ловчиков, Ю. Н. Бельшина, Ф.А. Деметьев / Под общей ред. В.С. Артамонова. - СПб.: СПб УГПС МЧС России, 2012. - 164 с.

10. Макарова, И. А. Физико-химические методы исследования строительных материалов: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / И. А. Макарова, Н. А. Лохова. – Братск Изд-во БрГУ, 2011. – 199с.

11. Матвеева Л. Ю. Коррозия и защита строительных материалов. Часть 1. Коррозия и защита металлических, каменных и бетонных материалов и конструкций: учебное пособие / Л. Ю. Матвеева. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 101 с.

12. Моисеева Т. Ф. Криминалистическое исследование веществ, материалов и изделий из них. Курс лекций. М.: Щит-М, 2005. – 208.

13. Огнестойкость строительных конструкций. – Сб. науч. тр.– М.: ВНИИПО МВД СССР, 1973 – 1986.

14. Основы криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий: учебное пособие / под ред. В. Г. Савенко. – М.: ЭКЦ МВД России, 1993–208.

15. Отто М. Современные методы аналитической химии. Изд. 2-е, исправленное. – М.: Техносфера, 2006 – 416 с.

16. Пожарно-техническая экспертиза: Учебник / Галишев М. А., Бельшина Ю. Н., Деметьев Ф.А и др. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. 453 с.

17. Применение рентгеновского анализа при исследовании объектов, изъятых с места пожара. – СПб.: СПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010. – 67 с.

18. Природные каменные материалы: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов всех направлений и уровней подготовки, реализуемых МГСУ / составители Д. В. Орешкин [и др.]. – Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. – 16 с.

19. Расследование пожаров: Учебник / В. С. Артамонов, В. П. Белобратова, Ю. Н. Бельшина и др. Под ред. Г. Н. Кирилова, М. А. Галишева, С. А. Кондратьева. СПб.: СПб Университет ГПС МЧС России, 2007. - 544 с.

20. Дергунов, С. А. Изучение образцов минералов и горных пород: методические указания / С. А. Дергунов, С. А. Орехов. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2012. – 26 с.

Статья поступила в редакцию 16.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 656.13

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0034

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДОРОЖНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
«АЛА-АРЧА»**

© 2021

Мамрега Валерий Викторович, генеральный директор

ООО «Дарбаза-Автоматик»

(720082, Кыргызстан, г. Бишкек, переулок Ясенский, д.31, e-mail: mamregavv@gmail.com)

Аннотация. Цель исследования, описанного в данной статье, заключается в изучении и анализе развития систем автоматизированного машинного зрения. На основании информации и статистических данных с открытых информационных ресурсов выявлены несовершенства современных систем дорожного регулирования, которые нуждаются в доработке и оптимизации, такие как большое количество операций, выполняемых водителем для получения возможности проехать контрольный пункт и отсутствие автономной работы системы управления. Также определена задача данного исследования – это повышение эффективности регулирования движения транспортных средств, повышение уровня комфорта и безопасности участников дорожного движения. На основании изученных аналогов систем дорожного регулирования разработана уникальная система на базе библиотеки компьютерного зрения «Open CV» и языка программирования «Python», а также успешно внедрена в эксплуатацию на въезде и выезде государственного природного парка «Ала-Арча», расположенного на территории Киргизии. Приведены схемы работы логики и взаимодействия ее компонентов, представлены высокие показатели распознавания номеров и габаритов транспортных средств разработанной автоматизированной системой.

Ключевые слова: анализ, машинное зрение, система дорожного регулирования, шлагбаум, идентификация габаритов транспортного средства, компьютерное зрение.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ROAD CONTROL SYSTEM «ALA-ARCHA»

© 2021

Mamrega Valery Viktorovich, general director

LLC "Darbaza-Avtomatik"

(720082, Kyrgyzstan, Bishkek, Yasenskiy lane, 31, e-mail: mamregavv@gmail.com)

Abstract. The purpose described in this article is to study and analyze the development of research in automated machine vision. Based on data from open sources of information, data on modern road control systems have been identified that need optimization and optimization, such as a large number of operations performed by the driver to achieve the ability to pass the checkpoint and the lack of autonomous operation of the control system. Also, the task of this study is determined - it is to increase the efficiency of traffic regulation, increase the level of comfort and safety of road users. On the studied analogs of road control systems, the restrictions of a unique system based on the computer vision library "Open CV" and the programming language "Python", as well as successfully put into operation at the entrance and exit of the state natural park "Ala-Archa", located on the territory of Kyrgyzstan. The schemes of operation of the logic and the interaction of its components are presented, high rates of recognition of numbers and dimensions of vehicles by the developed automated system are presented.

Keywords: analysis, machine vision, road control system, barrier, identification of vehicle dimensions, computer vision.

Введение. Ежегодно по всему миру наблюдается тенденция в увеличении количества транспортных средств, соответственно, плотности потока и его интенсивности, что, в свою очередь, вызывает потребность в организации дорожного движения. Одним из приоритетных векторов развития в данном направлении является разработка автоматизированных систем регулирования дорожного движения. Главная задача автоматизированной системы – это повышение эффективности регулирования движения транспортных средств, снижение задержек на пересечении их траекторий движения, а также повышение уровня комфорта и безопасности участников движения.

Одним из примеров автоматизированной системы управления является использование специальной кабины с пунктом контроля посещения при въезде на территорию парковок или территорию аэропортов, где

находиться можно ограниченное количество времени. Последовательность въезда и выезда заключается в приближении транспортного средства к шлагбауму, рядом с которым расположен пункт выдачи «карт посетителя». Водитель, получив карту, забирает ее к себе в салон, ждет открытия шлагбаума и заезжает на территорию. При выезде же водитель возвращает карту обратно, шлагбаум открывается и транспортное средство выезжает с территории. Данные системы производятся такими компаниями как «Mallenom systems» (шлагбаумы «Автомаршал»).

Из представленного выше материала можно заключить, что одним из приоритетных направлений в развитии систем автоматизированного управления является разработка и совершенствование программного обеспечения, а именно идентификация транспортного средства на дороге и максимально качественный

сбор данных о нем. Также, помимо технического аспекта, стоит не упускать из внимания, что необходимо разработать надежную систему в купе с простой обслуживанием и доступной стоимостью готового комплекса, поэтому развитие системы дорожного регулирования является одним из приоритетных направлений в области организации движения транспорта.

В рамках реализации проекта «Разработка автоматизированной системы дорожного регулирования «Ала-Арча»» определена **цель**, заключающаяся в разработке системы регулирования, ее логики и алгоритмов управления, а также анализе и подборе оборудования, необходимого для реализации контрольно-пропускного пункта, осуществляющего контроль въезда транспортного средства в заповедник «Ала-Арча», расположенный на территории Киргизии, а также выезда с него.

Материалы и результаты исследования. В ходе проекта проведен анализ современных систем регулирования движения транспортных средств при въезде на закрытую территорию, а также выезде с нее. Значительным недостатком данной системы является необходимость выполнения водителем следующих действий - останавливаться перед шлагбаумом, открыть

окно, дотянуться к кнопке получения карты посетителя, забрать карту в салон, закрыть окно, дождаться открытия шлагбаума, и только после всех вышеперечисленных действий водитель сможет осуществить заезд на территорию. Аналогичную последовательность операций водитель должен будет осуществить и при выезде с территории.

Соответственно, несовершенство существующей системы дорожного регулирования обусловлено не соответствующим программным обеспечением, которое не обеспечивает автономную работу контрольно-пропускного пункта, в результате чего водители должны выполнять определенную последовательность действий для получения возможности въезда и выезда с территории, что, в свою очередь, занимает большое количество времени, и, соответственно, влечет образование очереди перед контрольно-пропускным пунктом. Кроме того, если водитель находился на закрытой территории больше установленного времени, он должен выйти к пункту оплаты перед шлагбаумом на выезде, оплатить сумму, которая рассчитывается в зависимости от времени, что водитель провел на территории сверх установленного лимита, и только после оплаты получает возможность выехать.

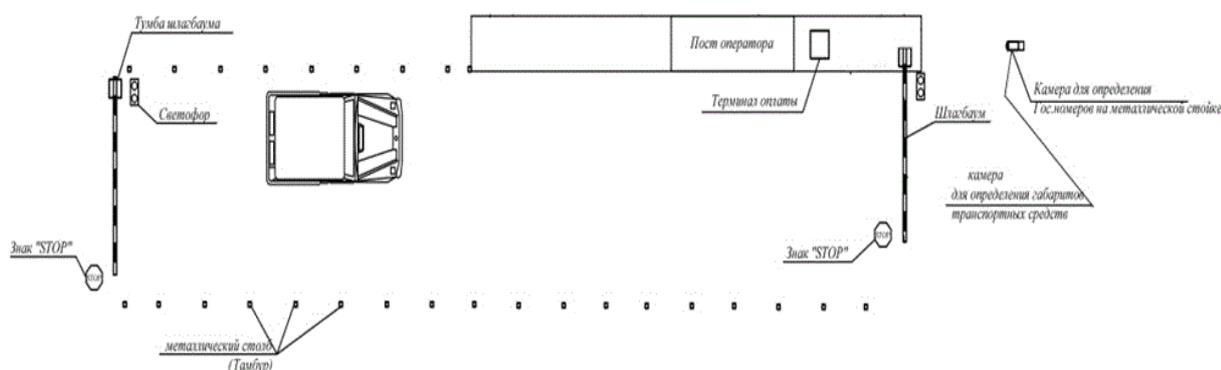


Рисунок 1 – Схема движения автомобиля при въезде на территорию парка

Проведя анализ существующей системы регулирования движения было выдвинуто предложение по организации автоматизированного сбора оплаты с транспортных средств на основе определения габаритов транспорта на въезде в природный парк «Ала-Арча», а также при выезде с него.

На рисунке 1 представлена схема движения транспортного средства при въезде на территорию парка. Транспортное средство подъезжает к первому шлагбауму, после которого расположена система определения габаритов автомобиля, и, при условии, что в зоне определения габаритов отсутствует транспортное средство, первый шлагбаум пропускает автомобиль в зону определения габаритов, и закрывается сразу после проезда.

Если же в зоне определения габаритов находится другое транспортное средство, первый шлагбаум остается в закрытом положении. Затем водитель активирует кнопку оплаты проезда, при этом производится определение габаритов автомобиля с помощью

камер видеонаблюдения, позволяющим идентифицировать размеры транспортного средства с точностью до нескольких сантиметров, параллельно происходит считывание номера автомобиля и отправка данных о транспортном средстве в систему.

После совершения оплаты, открывается второй шлагбаум для въезда на территорию парка. С момента совершения оплаты данное транспортное средство имеет доступ для въезда на территорию парка в течение 24 часов.

На рисунке 2 представлена схема движения транспортного средства при выезде с территории парка. Транспортное средство приближается к шлагбауму на выезде с территории, система видеонаблюдения идентифицирует наличие транспортного средства, после идентификации наличия автомобиля шлагбаум открывается, транспортное средство выезжает с территории парка. Данная логика системы позволяет в 5 раз сократить время выезда автомобиля с закрытой территории.

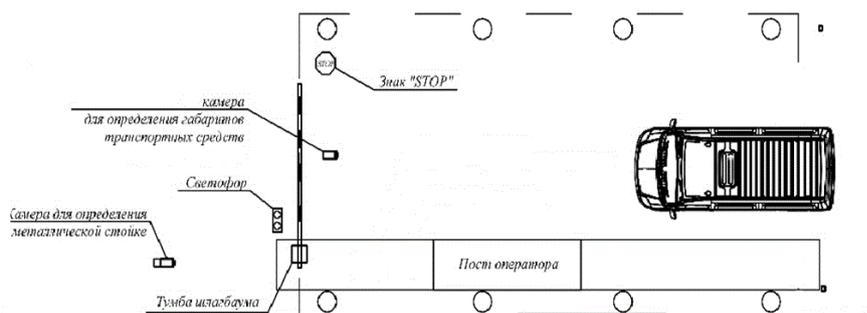


Рисунок 2 – Схема движения автомобиля при выезде с территории парка

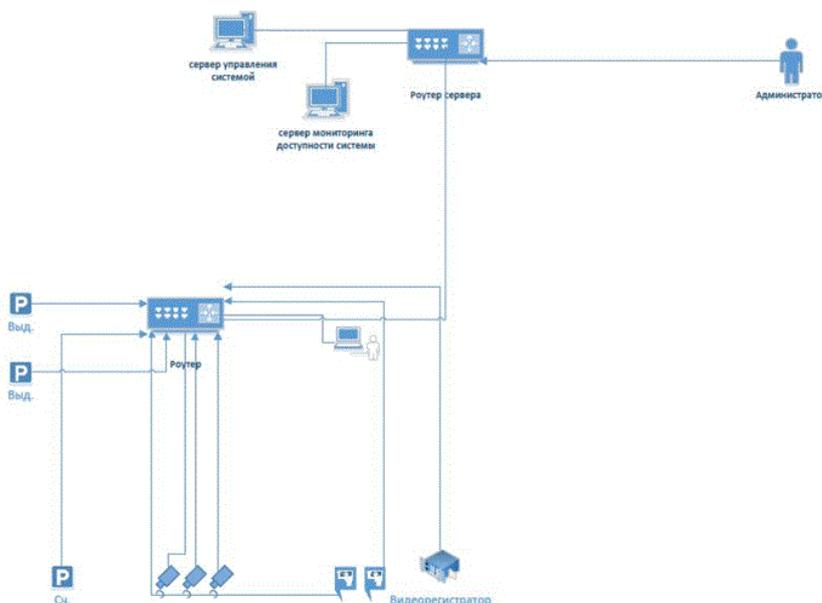


Рисунок 3 – Схема взаимодействия компонентов логики системы автоматизированного сбора оплаты с транспортных средств на основе определения габаритов транспорта на въезде в природный парк «Ала-Арча»

Для реализации данной логики необходимы следующие ресурсы: сервер, шлагбаум, терминал приёма оплаты, камеры распознавания образов.

Проект выполнен на базе библиотеки компьютерного зрения Open CV и реализован на платформе языка программирования Python. В процессе реализации проекта была увеличена точность распознавания габаритов и номеров автомобилей до 92%, а также в ходе оптимизации системы в 2021 году данный показатель был доведен уже до 98%. Такие высокие показатели были достигнуты за счет обучения нейронной сети более чем 10 млн кадров изображений номеров транспортных средств.

Логика выезда:

1) на въезде расположено по два шлагбаума, на каждый проезд – тамбур;

2) первый шлагбаум работает автоматически после срабатывания магнитной петли, второй открывается только после оплаты, либо проверяет по биллингу список бесплатных машин (белый список), либо список машин, чьи владельцы произвели оплату проезда или после оплаты не прошло более 24 часов;

3) выдержка на первом шлагбауме – при подъезде на петлю отправляется сигнал на открытие (не важно в каком положении сейчас стрела шлагбаума – если

она будет открытая и транспортное средство подъедет на петлю, шлагбаум закроется) после того, как стрела приняла вертикальное положение (открыто), которая выдерживает паузу ожидания проезда в 120 секунд, если же машина не пересекает фото элементы на шлагбауме, то происходит автозаккрытие, если же пересекает фотоэлементы, то шлагбаум закрывается сразу после пересечения фотоэлементов;

4) на каждом въездном шлагбауме расположено по две магнитных петли (одна перед шлагбаумом, вторая за ним);

5) при нахождении машины на втором шлагбауме (петля 2 второго шлагбаума), машине, подъехавшей к первому шлагбауму, шлагбаум не откроется, открытие происходит только после проезда через второй шлагбаум автомобиля, находившимся в магнитной петле 2, в таком случае первый шлагбаум автоматически откроется;

6) после оплаты и открытия второго шлагбаума происходит ожидание на пересечении фотоэлементов в течении 120 секунд, после чего, если не происходит никаких действий, шлагбаум закроется автоматически; если же происходит пересечение фотоэлементов, шлагбаум закроется сразу же после пересечения;

7) для корректного определения габаритов и совер-

шения оплаты в тамбуре должна находиться только одна машина;

8) в случае нахождения в тамбуре двух автотранспортных средств – габариты и номера автотранспортных средств могут считаться некорректно;

9) автотранспортное средство должно двигаться по тамбуру не более 5 км/ч для корректности считывания номеров. В случае, если номер авто не считался по какой-либо причине, его требуется вносить вручную. Ни в коем случае нельзя позволять автотранспортному средству ездить назад и вперед по тамбуру, это может привести к повреждению ограждения, а также шлагбаумов в случае невнимательности водителя.

Логика въезда:

1) когда машина подъезжает к выездному шлагбауму и наезжает на магнитную петлю, происходит выдержка в течении 10 секунд (для распознавания номера), и происходит поиск машины в системе для переноса ее в историю проездов;

2) после чего открывается выездной шлагбаум и ожидает в течении 40 секунд на проезд через фотоэлементы, если же проезда нет, то шлагбаум закрывается автоматически.

Заключение. Сравнивая предложенную систему организации въезда и выезда с территории парка с уже существующими аналогами, можно заключить, что благодаря усовершенствованной логике системы, водителям необходимо только активировать нажатие кнопки покупки билета и оплатить его, все остальные операции система выполняет автономно, значительно увеличивая скорость проезда транспортных средств на территорию парка и сокращая время выезда транспортного средства с закрытой территории, а также разгружая работу оператора кассы и администратора. Данные преимущества разработанной системы обеспечиваются за счет реализованной логики на базе библиотеки компьютерного зрения «Open CV» и языка программирования «Python», а также комплекса специального оборудования, описанного в данной статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) [Электронный ресурс] – URL: <https://korda-group.ru/products/asudd/>
2. Шлагбаумы и барьеры [Электронный ресурс] – URL: <https://clck.ru/X9XLJ>
3. Шлагбаум с постом охраны [Электронный ресурс] – URL: <https://remstroytrest.ru/shl.html>
4. Автоматическая система регулирования дорожного движения (АСКРДД) [Электронный ресурс] – URL: <https://www.vzglyad.biz/ru/asrpd.html>
5. Оптимизация работы адаптивных светофоров на основе использования машинного зрения [Электронный ресурс] – URL: <https://clck.ru/XFAX4>
6. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010: Труды научно-технической конференции-семинара. 2010. С. 11-44.
7. Оптимизация работы адаптивных светофоров на основе использования машинного зрения [Электронный ресурс] – URL: <https://avt.global/video/computervision>
8. Машинное зрение: востребованность и перспективы [Электронный ресурс] – URL: <https://www.tbforum.ru/blog/mashinnoe-zrenie-vostrebovannost-i-perspektivy>
9. Машинное зрение [Электронный ресурс] – URL: <https://www.iksmedia.ru/articles/5685849-Mashinnoe-zrenie-kak-nauchit-lokomo.html>

www.iksmedia.ru/articles/5685849-Mashinnoe-zrenie-kak-nauchit-lokomo.html

10. Машинное зрение для аналитики дорожного движения [Электронный ресурс] – URL: <https://www.secuteck.ru/articles/kompyuternoe-zrenie-dlya-analitiki-dorozhno-gdvizheniya-3-uspeshnyh-kejsa>

11. Машинное зрение. Что это и как им пользоваться? Обработка изображений оптического источника [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/post/350918/>

12. Осваиваем компьютерное зрение – 8 основных шагов [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/post/461365/>

13. Компьютерное зрение [Электронный ресурс] – URL: <https://exponenta.ru/comp-vision>

14. Видео-контроль промышленной безопасности при помощи компьютерного зрения [Электронный ресурс] – URL: <https://digdes.ru/nlab/mashinnoe-zrenie-v-promyshlennosti>

15. Исследователи записали мозговую активность крыс и применили её для улучшения машинного зрения [Электронный ресурс] – URL: https://habr.com/ru/search/?q=машинное%20зрение&target_type=posts&order=relevance

16. Компьютерное зрение [Электронный ресурс] – URL: https://yandex.ru/company/technologies/computer_vision/

17. Как регулировали дорожное движение: от Цезаря до наших дней [Электронный ресурс] – URL: <https://www.prostranstvo.media/kak-regulirovali-dorozhnoe-dvizhenie-ot-cezarya-do-nashih-dnej/>

18. Какую роль системы компьютерного зрения играют в четвертой промышленной революции? [Электронный ресурс] – URL: <https://www.baslerweb.com/ru/vision-campus/otrasli-i-zadachi/rol-kompyuternogo-zreniya-v-ehpohu-industriya-4-0/>

19. Компьютерное зрение. Задачи, области применения, перспективы [Электронный ресурс] – URL: <https://vc.ru/ml/166105-kompyuternoe-zrenie-zadachi-oblasti-primeneniya-perspektivy>

20. Просто о сложном. Как работает компьютерное зрение [Электронный ресурс] – URL: <https://vc.ru/u/536956-infosistemy-dzhet/162112-prosto-o-slozhnom-kak-rabotaet-kompyuternoe-zrenie>

21. Как выбрать автоматический шлагбаум: на что обратить внимание, лучшие модели и отзывы [Электронный ресурс] – URL: <https://vidsyst.ru/sistemy-kontrolya-dostupa/shlagbaum/avtomaticheskij.html>

22. Автомаршал [Электронный ресурс] – URL: https://www.mallenom.ru/products/videokontrol-i-uchet-avtotransporta/avtomarshal/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=cid|30020285|search&utm_content=gid|2929484070|aid|4772959164|11695495130_&utm_term=автомат%20шлагбаумы&yclid=5200370865234540402

Статья поступила в редакцию 17.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021

УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0035

**КОМПОНЕНТЫ ГОТОВНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ВУЗА К БЕЗОПАСНОМУ ПОВЕДЕНИЮ
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

© 2021

Сошина Наталья Леонидовна, кандидат психологических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и безопасности жизнедеятельности**Нагорный Роман Владимирович**, старший преподаватель кафедры общетехнических дисциплин и безопасности жизнедеятельности,*Курский государственный университет**(305000, Россия, г. Курск, ул. Радищева, 33, e-mails: nagornyroman1970@mail.ru, kalanchuk81@mail.ru)*

Аннотация. В современном мире чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера стали объективной реальностью, что обосновывает актуальность проблемы повышения готовности, обучающихся высших учебных заведений к безопасному поведению в ЧС. Освоение образовательных программ бакалавриата по различным направлениям подготовки в ВУЗе предполагает формирование у обучающихся соответствующей компетенции, напрямую связанной с безопасными действиями в ЧС. В статье рассмотрены основные компоненты готовности обучающихся к безопасному и эффективному поведению в ЧС и подобраны методики для оценки их уровня сформированности. Целью исследования уровня готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС является определение направлений совершенствования процесса формирования соответствующей компетенции в ходе осуществления учебно-воспитательного процесса ВУЗа. Исследование проводилось методом анкетирования, тестирования, беседы, наблюдения за деятельностью обучающихся, моделирования. Результаты исследования продемонстрировали значительный дисбаланс в сформированности отдельных компонентов готовности, обучающихся к безопасному поведению в ЧС, проявляющийся в том, что при высоком уровне теоретической подготовки (когнитивной составляющей), у студентов зачастую отсутствует готовность к реальным практическим действиям в ЧС и применению различных средств и методов защиты, отсутствует интерес к совершенствованию своей компетентности в области безопасности в ЧС. В статье также обозначены основные направления решения проблемы повышения уровня готовности обучающихся ВУЗа к безопасному поведению в ЧС.

Ключевые слова: безопасность поведения; чрезвычайные ситуации; компоненты готовности.

**COMPONENTS OF THE PREPAREDNESS OF UNIVERSITY STUDENTS FOR
SAFE EMERGENCY BEHAVIOUR**

© 2021

Soshina Natalia Leonidovna, candidate of psychological sciences, associate professor of department of all-technical disciplines and safety of life**Nagorny Roman Vladimirovich**, senior teacher of department of all-technical disciplines and safety of life, *Kursk State University,**(305000, Russia, Kursk, st. Radishcheva, 33, e-mails: nagornyroman1970@mail.ru, kalanchuk81@mail.ru)*

Abstract. In the modern world, natural and man-made emergencies have become an objective reality, which justifies the urgency of the problem of increasing the readiness of students of higher educational institutions for safe behavior in emergencies. The development of bachelor's degree programs in various areas of training at the university involves the formation of appropriate competence among students directly related to safe actions in an emergency. The article considers the main components of students' readiness for safe and effective behavior in emergency situations and selects methods for assessing their level of formation. The purpose of the study of the level of readiness of students for safe behavior in an emergency is to determine the directions for improving the process of forming the appropriate competence during the implementation of the educational process of the university. The study was conducted by the method of questionnaires, testing, interviews, monitoring the activities of students, modeling. The results of the study demonstrated a significant imbalance in the formation of individual components of readiness for safe behavior in an emergency, manifested in the fact that with a high level of theoretical training (cognitive component), students often lack readiness for real practical actions in an emergency and the use of various means and methods of protection, there is no interest in improving their competence in the field of safety in an emergency. The article also outlines the main directions for solving the problem of increasing the level of readiness of university students for safe behavior in emergency situations.

Keywords: safety of behavior; emergency situations; components of readiness.

Введение. На территории Российской Федерации в 2019 году произошло 266 чрезвычайных ситуаций (ЧС), в результате чего погибло 532 человека [1, с. 7], в 2020 году произошло 331 ЧС, погибло 326 человек;

в 2021 году общее количество ЧС прогнозируется на уровне 2019 – 2020 года [2, с. 13]. На территории Курской области расположен 1 радиационно опасный объект (Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Курская

атомная станция»), в случае радиационной аварии на котором в зоне радиоактивного заражения может оказаться более 140000 человек, и 10 химически опасных объектов (3 из них на территории г. Курска), в зонах возможного химического заражения которых проживает более 23000 человек [3; 4]. Таким образом, в современном мире ЧС стали объективной реальностью, что обосновывает актуальность проблемы повышения готовности обучающихся ВУЗов к безопасному поведению в ЧС.

Проблема формирования и повышения готовности обучающихся к безопасным и эффективным действиям в ЧС является актуальной, поскольку в соответствии с Федеральным законом «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» от 21.12.1994 N 68-ФЗ, одной из обязанностей граждан РФ является «...изучать основные способы защиты населения и территорий от ЧС, приемы оказания первой помощи, ... правила пользования коллективными и индивидуальными средствами защиты, постоянно совершенствовать свои знания и практические навыки в указанной области; выполнять установленные правила поведения при введении режима повышенной готовности или ЧС ...» (ст. 19) [5].

Большой вклад в теоретическое обоснование проблемы формирования навыков безопасного поведения, в том числе в ЧС, внесли труды В.Г. Воловича, А.В. Гостюшина, М.А. Котика, А.Т. Смирнова, И.К. Топорова и др. В настоящее время в диссертационных исследованиях раскрыты различные теоретические и практические вопросы формирования культуры безопасности жизнедеятельности в ЧС (Иовенко И.В., 2003) [6], формирования готовности к безопасному поведению в повседневной жизни подростков (Сорокина Л.А., 2010) [7] и младших школьников (Купецкова В.Ф., 2008) [8]; формирования навыков безопасного поведения подростков в природных условиях (Неймышев А.В., 2013) [9], на дорогах (Толочко Е.И., 2017) [10]; навыков безопасного поведения в ЧС (Черный С.П., 2007) [11] и готовности к организованным действиям в ЧС (Сидоркин В.А., 2008) [12] у обучающихся общеобразовательных учреждений, а также вопросы обеспечения психологического благополучия личности в экстремальных условиях жизнедеятельности (Ширяева О.С., 2008) [13] и др.

В ВУЗе целью освоения образовательных программ бакалавриата является приобретение обучающимся ряда компетенций, одна из которых связана с их подготовкой к действиям в ЧС. Нами был проанализирован ряд ФГОС ВО по различным направлениям подготовки, реализуемым в Курском государственном университете (КГУ): так, например, обучение по направлениям подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям), 38.03.01 Экономика, 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем, 44.03.02 Психолого-педагогическое образование, 05.03.06 Экология и природопользование и др. предполагает приобретение обучающимися общекультурной компетенции ОК-9

– способности использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях ЧС; обучение по направлениям подготовки 43.03.01 Сервис, 43.03.02 Туризм предполагает овладение обучающимися ОК-8 (ОК-15) – готовностью пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий. В настоящий момент (в связи с изменениями, произошедшими в ФГОС ВО) обучение по различным направлениям подготовки в КГУ предусматривает приобретение универсальной компетенции УК-8 – способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении ЧС [14].

Однако, опыт работы позволил нам отметить противоречие, заключающееся в том, что при высоком уровне теоретической подготовки у обучающихся зачастую отсутствует готовность к реальным практическим действиям в ЧС, что обусловлено, на наш взгляд, дисбалансом в сформированности отдельных компонентов готовности к безопасному поведению в подобных ситуациях.

Под готовностью обучающихся ВУЗа к безопасному поведению в ЧС мы будем понимать их способность действовать в ЧС грамотно и эффективно (с учетом особенностей развития ситуации), что обеспечивается совокупностью сформированных знаний, умений, навыков в области безопасности в ЧС и соответствующего опыта деятельности, мотивацией и психологической устойчивостью в напряженных ситуациях, способностью анализировать собственное поведение с точки зрения безопасности и корректировать его, регулировать свое эмоциональное состояние.

В аналитическом обзоре Гафнера В.В. подробно представлены проведенные до 2012 года диссертационные исследования в области формирования культуры безопасности жизнедеятельности [15]. За последующие годы научная база пополнилась исследованием в области формирования культуры безопасности у обучающихся образовательных учреждений (Есипова А.А., 2014); исследованием о психологических детерминантах сформированности культуры безопасности жизнедеятельности у населения радиоактивно загрязненных территорий (Белых Т.В., 2014) и др.

Ранее в наших исследованиях [16, 17] на основе анализа различных научных подходов были установлены наиболее значимые компоненты культуры безопасности жизнедеятельности обучающихся ВУЗов; аналогичные компоненты с незначительными поправками можно выделить и в структуре готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС (см. табл 1).

Исследование уровня готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС проводилось с целью определения направлений совершенствования процесса формирования соответствующей компетенции в ходе осуществления учебно-воспитательного процесса ВУЗа.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено на базе индустриально-педагогическо-

го факультета КГУ среди обучающихся 2 – 4 курсов очной и заочной формы обучения по направлениям подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям) и 43.03.01 Сервис. Оценка сформированности отдельных компонентов осуществлялось по шкале от 0% до 100% (0 – 35% – низкий уровень, 36 – 70% – средний уровень, 71 – 100% – высокий уровень сформированности компонента). Для общей оценки уровня готовности к безопасному поведению в ЧС приняты критерии, обоснованные в исследова-

ниях Дронов А.А.: среднему отклонению показателей по шкале оценки сформированности отдельных компонентов 0 – 5% соответствует наиболее высокий IV уровень, 6 – 15% – III уровень, 16 – 27% – II уровень, 28 – 39% – I уровень готовности к безопасному поведению [19, с. 17], поскольку более высокому общему уровню готовности к безопасному поведению в ЧС соответствует более высокая сбалансированность в уровне сформированности отдельных ее компонентов [19].

Таблица 1 – Компоненты готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС

Компонент	Его содержание
Когнитивный компонент (КК)	знание причин, последствий, механизма развития и воздействия поражающих факторов ЧС на человека, сооружения, объекты экономики и др., способов минимизации их негативного воздействия, обеспечения личной безопасности, методов и средств оказания помощи и защиты в ЧС; умение анализировать и прогнозировать развитие ЧС, производить оценку обстановки, разрабатывать и выбирать наиболее эффективный алгоритм безопасного поведения и действий в ЧС
Деятельностный (поведенческий) компонент (ДК)	практические умения и навыки применения специальных средств индивидуальной и коллективной защиты, первичных средств пожаротушения, владение приемами оказания первой помощи, применения подручных средств для защиты и оказания помощи; личный опыт безопасного поведения в ЧС (в тренировочных искусственно созданных ситуациях, эвакуациях, организациях СЭП на базе ВУЗа и др.); опыт участия в соревнованиях, мастер-классах сотрудников РСЧС и др.
Мотивационно - аксиологический компонент (МАК)	потребность в обеспечении личной и общественной безопасности в ЧС, осознание личной значимости изучаемого материала; интерес к совершенствованию своей компетентности в области безопасности в ЧС, к мероприятиям, проводимым специалистами РСЧС; ценностная установка на совершение действий не только по обеспечению личной безопасности, но и по оказанию помощи окружающим; стремление к побуждению (агитации) других к безопасному поведению в ЧС; осознание ответственности в вопросах обеспечения личной и общественной безопасности
Психо-эмоциональный компонент (ПЭК)	надежность и последовательность поведения в ЧС; психологическая устойчивость (по определению Варварова В.В., «способность противостоять негативному влиянию напряженности на поведение и действия» [18, с. 145]); способность адекватно воспринимать сложившуюся ситуацию в ЧС и осознание способности влиять на развитие событий; быстрая адаптация и способность сохранять активность в ЧС, контролировать свое поведение и эмоциональное состояние
Рефлективный компонент (РК)	навыки самооценки эффективности и безопасности своего поведения в ЧС, своей готовности к реальным практическим действиям в ЧС; способность анализировать и корректировать собственное поведение в ЧС

Для исследования каждого из указанных выше компонентов готовности к безопасному поведению в ЧС нами были разработаны анкеты. Когнитивный компонент оценивался при помощи заданий в тестовой форме и заданий открытого типа на умение анализировать и прогнозировать развитие ЧС, производить оценку обстановки, разрабатывать алгоритмы безопасного поведения и действий в ЧС; деятельностный компонент – путем выполнения обучающимися различного рода практических заданий, а также опроса о наличии личного опыта безопасного поведения в ЧС, в том числе в тренировочных мероприятиях, соревнованиях и др. Для оценки уровня сформированности мотивационно - аксиологического компонента применялись вопросы о личной заинтересованности в совершенствовании своих знаний, умений и навыков в области безопасности в ЧС и готовности к участию в агитации по вопросам профилактики ЧС и обеспечения безопасности населения в случае их возникновения; для диагностики рефлективного компонента использовались ситуационные задачи.

При оценке психоэмоционального компонента применялась методика определения нервно-психической устойчивости (НПУ), риска дезадаптации в стрессе «Прогноз» [20, с. 49], рекомендуемая при подборе персонала для работы в экстремальных ситуациях, шкала которой предполагает 4 группы НПУ: высокая (9-10 стен), хорошая (6-8 стен), удовлетворительная (3-

5) и неудовлетворительная (1-2 стены) (для дальнейшего графического отображения общих результатов диагностики стены были преобразованы в проценты).

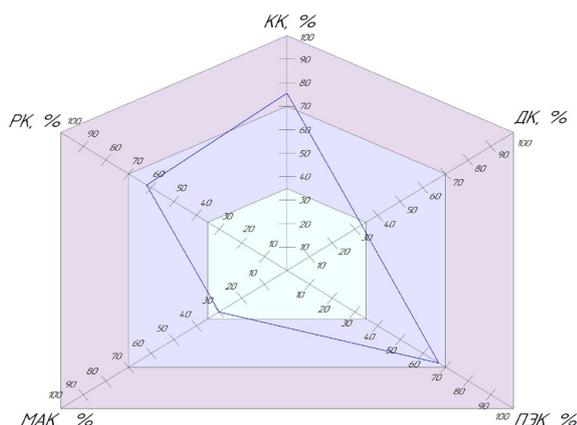
Результаты исследования. Результаты оценки индивидуальных уровней готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС, приведенные в таблице 2, наглядно демонстрируют, что большинство обучающихся (63,3%) находится на II уровне, следовательно, имеет место значительный дисбаланс в сформированности отдельных ее компонентов.

Величина среднего отклонения показателей по шкале оценки сформированности отдельных компонентов для обобщенной группы составила 22%, то есть в целом исследуемая группа обучающихся также находится на II уровне готовности к безопасному поведению в ЧС.

На рисунке 1 приведены результаты построения обобщенной тест-модели, на которой наглядно отражено нарушение сбалансированности в уровне сформированности различных компонентов готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС.

Таблица 2 – Результаты оценки индивидуального уровня готовности к безопасному поведению в ЧС

Всего обучающихся	I уровень		II уровень		III уровень		IV уровень	
	человек	%	человек	%	человек	%	человек	%
90	7	7,8	57	63,3	18	20	8	8,9



КК – когнитивный компонент; ДК – деятельностный компонент; ПЭК – психоэмоциональный компонент; МАК – мотивационно – аксиологический компонент; РК – рефлексивный компонент готовности к безопасному поведению в ЧС

Рисунок 1 – Обобщенная тест-модель готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС

По результатам исследования, высокий уровень сформированности отмечен только по когнитивному компоненту готовности к безопасному поведению в ЧС, психоэмоциональный и рефлексивный компонент сформированы на среднем уровне, деятельностный и мотивационно - аксиологический – на низком уровне (табл. 3), что еще раз подтверждает отмеченное нами выше противоречие, заключающееся в том, что при высоком уровне теоретической подготовки (когнитивной составляющей) у обучающихся зачастую отсутствует готовность к реальным практическим действиям в ЧС и практическому применению различных средств и методов защиты, и, что очень важно, отсутствует интерес к совершенствованию своей компетентности в области обеспечения безопасного поведения в ЧС и ценностные установки на обеспечение не только личной безопасности, но и оказание помощи окружающим, осознание ответственности в вопросах обеспечения личной и общественной безопасности.

Таблица 3 – Результаты оценки сформированности компонентов готовности к безопасному поведению в ЧС, %

Компоненты готовности к безопасному поведению в ЧС	Среднее значение, %
Когнитивный (КК)	75,5
Психоэмоциональный (ПЭК)	67
Рефлексивный (РК)	62
Деятельностный (ДК)	33
Мотивационно - аксиологический (МАК)	30

Заключение. Результаты проведенного исследования показали, что большинство респондентов исследуемых групп студентов находятся на II уровне готовности к безопасному поведению в ЧС, что связано со значительным дисбалансом в сформированности ее когнитивного, деятельностного и мотивационно-аксиологического компонента. Повышение уровня готовности обучающихся к безопасному поведению в ЧС возможно при условии

достижения баланса в уровне сформированности данных компонентов. В ходе реализации в ВУЗе дисциплин «БЖД» (предусмотрено учебным планом подготовки обучающихся по всем реализуемым направлениям и профилям), «Безопасность в ЧС» и «ЧС и методы защиты» (предусмотрено учебным планом подготовки обучающихся по отдельным направлениям и профилям) следует, основываясь на сформированном у студентов в ходе обучения в школе (дисциплина «ОБЖ») на высоком уровне когнитивном компоненте, повысить уровень сформированности деятельностного и мотивационно - аксиологического компонента посредством вовлечения обучающихся в активную практическую деятельность соответствующей направленности: вступление в члены Добровольной пожарной дружины ВУЗа, проведение агитационной работы по вопросам безопасности в ЧС, создание агитационных листовок, видеороликов, участие в мастер-классах сотрудников РСЧС, в учебных эвакуациях и организации СЭП на базе ВУЗа, в соревнованиях и других формах организации учебно-воспитательного процесса ВУЗа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2019 году: государственный доклад. – М.: МЧС России; ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2020. – 259 с. / URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/4602> (дата обращения: 02.06.2021).
2. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году: государственный доклад. – М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. – 264 с. / URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/5304> (дата обращения: 03.06.2021).
3. Об утверждении Подпрограммы «Обеспечение средствами индивидуальной защиты населения на территории Курской области на 2013 – 2020 годы» областной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Курской области на 2010 - 2014 годы» / Администрация Курской области: официальный сайт / URL: https://adm.rkursk.ru/index.php?id=109&mat_id=20366 (дата обращения: 20.06.2021).
4. Перечень химически опасных объектов Курской области / Главное управление МЧС России по Курской области: официальный сайт / URL: <https://46.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/dopolnitelnye-stranicy/staticheskie-stranicy/staticheskie-materialy/perechen-himicheskii-opasnyh-obektov-kurskoj-oblasti> (дата обращения: 20.06.21).
5. О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера: Федеральный закон от 21.12.1994 N 68-ФЗ (с изменениями на 11 июня 2021 года); принят Государственной Думой 11 ноября 1994 года / URL: <https://docs.cntd.ru/document/9009935> (дата обращения: 20.06.2021).
6. Иовенко И.В. Теория и практика формирования у учащихся общеобразовательной школы культуры безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях: дисс. ... доктора пед. н.: 13.00.01 / Иовенко Игорь Викторович. – Москва, 2003. - 411 с.
7. Сорокина Л.А. Формирование готовности подростков к безопасному поведению в повседневной жизни: дисс. ... к.п.н.: 13.00.01 / Сорокина Людмила Аркадьевна.- Тюмень, 2010.- 199 с.
8. Купецкова В.Ф. Формирование навыков безопасного поведения младших школьников в процессе внеурочной работы в общеобразовательном учреждении: автореферат дис. ... к.п.н.: 13.00.01 / Купецкова Валерия Феликсовна. – Пенза, 2008. – 24 с.

9. Неймышев А.В. Формирование навыков безопасного поведения в природных условиях у подростков через систему дополнительного образования: автореф. дис. ... к.п.н.: 13.00.02 / Неймышев Алексей Викторович. – Екатеринбург, 2013. – 23 с.
10. Толочко Е.И. Методика формирования культуры безопасного поведения обучающихся на дорогах на основе интеграции школьного и дополнительного образования: автореф. дис. ... к.п.н.: 13.00.02 / Толочко Евгения Ивановна. – Санкт-Петербург, 2017 - 24 с.
11. Черный С.П. Психолого-педагогическое обеспечение процесса формирования навыков безопасного поведения в чрезвычайных ситуациях у учащихся общеобразовательных школ автореферат дис. ... к.п.н.: 13.00.01 / Черный Сергей Петрович. – Красноярск, 2007. – 28 с.
12. Сидоркин В.А. Психолого-педагогические условия формирования готовности школьников к организованным действиям при чрезвычайных ситуациях: дисс ... к.п.н.: 13.00.01 / Сидоркин Владимир Александрович. – Москва, 2008. – 142 с.
13. Ширияева О.С. Психологическое благополучие личности в экстремальных условиях жизнедеятельности: дисс. ... к.п.н.: 19.00.01 / Ширияева Ольга Сергеевна. – Петропавловск-Камчатский, 2008. – 254 с.
14. Образовательные стандарты и требования / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный университет»: официальный сайт / URL: <https://kursksu.ru/sveden/eduStandarts/> (дата обращения: 10.06.21).
15. Гафнер В.В. Культура безопасности: аналитический обзор диссертационных исследований (педагогические науки, 2002-2012 гг.). – Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Урал. гос. пед. ун-т», 2013. – 200 с.
16. Сошина Н.Л., Нагорный Р.В. Психолого-педагогическая диагностика уровня сформированности культуры безопасности жизнедеятельности обучающихся ВУЗа // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. – 2019. – Т. 8. – № 5-1. – С. 276 – 287.
17. Сошина Н.Л. Психолого-педагогические аспекты формирования культуры безопасности жизнедеятельности обучающихся ВУЗа // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. – 2019. – Т. 8. – № 4-1. – С. 102 – 113.
18. Рогачева Т.В., Залевский Г.В., Левицкая Т.Е. Психология экстремальных ситуаций и состояний : учеб. пособие. – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2015. – 276 с.
19. Дронов А.А. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности студентов учреждений среднего профессионального образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук. – Воронеж, 2009. – 24 с.
20. Психодиагностика стресса: практикум // Сост. Р.В. Куприянов, Ю.М. Кузьмина; М-во образ. и науки РФ, Казан. гос. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2012. – 212 с.

Статья поступила в редакцию 26.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021