

vek21.penzgtu.ru

18+

ISSN 2221-951X

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

ПЛЮС



2023

№1(61) т.12



технические науки



XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Учредитель – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

Ответственный секретарь

Коростелева Анна Владимировна, кандидат технических наук

Основан в 2011 г.

18+

Том 12
№ 1 (61)
2023

Журнал выходит
4 раза в год

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

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

Компьютерная верстка:
В.В. Зупарова

Технический редактор:
В.В. Зупарова

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

Подписано в печать 20.03.2023.

Выход в свет 27.03.2023.

Формат 60X84 1/8

Печать ризография.

Усл. печ. л. 26,2.

Тираж 100 экз. Заказ № 192.

Отпечатано в ПензГТУ,
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, д. 1а/11, тел.: 8(8412) 20-86-39
Цена свободная

СВЕДЕНИЯ О ЧЛЕНАХ РЕДКОЛЛЕГИИ

Главный редактор

Шеуджен Асхад Хазретович, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрохимии
(Кубанский государственный аграрный университет)

Заместители главного редактора:

Авроров Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Пищевые производства»
(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Ефремова Сания Юнусовна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

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

Мотовилов Олег Константинович, доктор технических наук, доцент, начальник отдела пищевых систем и биотехнологий, главный научный сотрудник

(Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия)

Пашенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор, ректор

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

Политаева Наталья Анатольевна, доктор технических наук, профессор, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия)

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

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

Редакционная коллегия:

Акинин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»

(Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

Андреев Юрий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Пожарная безопасность»

(Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия)

Антипов Сергей Тихонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»

(Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия)

Базарнова Юлия Генриховна, доктор технических наук, профессор, директор Высшей школы биотехнологии и пищевых технологий

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия)

Бакин Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Биотехнологий и производства продуктов питания»

(Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, г. Кемерово, Россия)

Баширов Мусса Гумерович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий»

(Уфимский государственный нефтяной технический университет, Институт нефтепереработки и нефтехимии, г. Салават, Россия)

Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

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

Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор

(Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Республика Казахстан)

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, начальник отдела инженерной экологии и экологического мониторинга Самарского научного центра РАН, заведующий кафедрой «Химическая технология и промышленная экология»

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

Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела пищевых систем и биотехнологий

(Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия)

Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, директор института 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)

Зыбина Ольга Александровна, доктор технических наук, доцент, заместитель начальника по научной работе
(Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия)

Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника»
(Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия)

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

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

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

Куликовских Илона Марковна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем и технологий
(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия)

Мамедова Тарана Аслан кызы, доктор технических наук, профессор, заместитель директора
(Институт Нефтехимических процессов НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан)

Маскевич Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, директор
(Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь)

Махмудова Любовь Ширваниевна, доктор технических наук, профессор, директор
(Институт нефти и газа, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Чеченская Республика)

Милентьева Ирина Сергеевна, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры бионанотехнологии
(Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия)

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

Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и моделирования
(Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия)

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

Рожнов Евгений Дмитриевич, доктор технических наук, доцент кафедры биотехнологии
(Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийский технологический институт (филиал), г. Бийск, Россия)

Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор, начальник научно-исследовательского центра Академия гражданской защиты
(Академия гражданской защиты МЧС России, г. Москва, Россия)

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

Танклевский Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пожарная безопасность»
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа техносферной безопасности, г. Санкт-Петербург, Россия)

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

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

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

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

Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры 801
(Московский авиационный институт, г. Москва, Россия)

Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии питания
(Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия)

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ И ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА Тихонов Мартин Робертович.....	8
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПРИ ОТКРЫТОМ ГОРЕНИИ ВЕЩЕСТВА В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ Кошев Николай Александрович, Кузина Валентина Владимировна, Чиркин Кирилл Денисович, Кошев Александр Николаевич.....	12
ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ БОЛЬШИХ ДАННЫХ Прокофьев Олег Владимирович.....	17
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ НА ПРИМЕРЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ Журавлев Александр Александрович.....	23
ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА Кураева Елена Анатольевна, Литвинская Ольга Сергеевна.....	29
ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АГРОСТРАХОВАНИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УРОЖАЙНОСТИ Киндаев Александр Юрьевич, Моисеев Александр Владимирович.....	36
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЛОСКОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ ПРИ ОТКРЫТОМ ГОРЕНИИ ВЕЩЕСТВА В ЗАМКНУТОМ ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ Кузина Валентина Владимировна, Кошев Николай Александрович, Чиркин Кирилл Денисович, Кошев Александр Николаевич.....	41
РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА Ульянов Александр Дмитриевич.....	47
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «КОРМА-ЖИВОТНЫЕ-ПРОДУКТИВНОСТЬ» С УЧЕТОМ КИНЕТИКИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ Акимов Сергей Сергеевич, Боровский Александр Сергеевич.....	53
РАЗРАБОТКА SCADA-ПРОЕКТА ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СГУЩЕННОГО МОЛОКА Бородулин Дмитрий Михайлович, Сафонова Елена Александровна, Потапова Марина Николаевна.....	59

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОГО РАЦИОНА СТУДЕНТОВ КАК ПРЕДПОСЫЛКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАПИТКА ИЗ МЯКОТИ ТЫКВЫ Школьникова Марина Николаевна, Аббазова Венера Нагимовна, Рожнов Евгений Дмитриевич.....	66
ВЛИЯНИЕ ЛАКТАТСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК И КУРКУМЫ НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ Асфондырова Ирина Владимировна, Демченко Вера Артемовна, Бескоровайный Николай Дмитриевич.....	72

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И РЕЦЕПТУРЫ ДОЛМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯСА КРЕВЕТОК**

Зачесова Инесса Александровна, Шагаева Наталья Николаевна,
Горбачева Мария Владимировна, Погосян Лиан Гайковна.....78

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА С УЧЕТОМ СРОКА
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ**

Нарусова Елена Юрьевна, Никулин Константин Сергеевич, Стручалин Владимир Гайзович.....85

**КРИТЕРИИ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ**

Нам Галина Евгеньевна, Горбунова Ольга Владимировна.....90

CONTENT
INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPLICATION OF UNIVARIATE AND POLYNOMIAL REGRESSION TO ESTIMATE THE PROBABILITY OF FAILURE Tikhonov Martin Robertovich.....	8
MATHEMATICAL MODELING OF SPHERICAL CONVECTIVE DIFFUSION OF COMMERCIAL CARBON UNDER OPEN COMBUSTION OF A SUBSTANCE IN A LIMITED SPACE Koshev Nikolay Alexandrovich, Kuzina Valentina Vladimirovna, Chirkin Kirill Denisovich, Koshev Alexander Nikolaevich.....	12
MAKING DECISIONS BASED ON INDUSTRIAL BIG DATA Prokofiev Oleg Vladimirovich.....	17
COMPARISON OF THE CLASSIFICATION EFFICIENCY OF THE CONTOUR DETECTION METHODS ON THE EXAMPLE OF ROAD SURFACE IMAGES Zhuravlev Alexander Alexandrovich.....	23
CHOICE OF VIRTUALIZATION TECHNOLOGY FOR THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY Kuraeva Elena Anatolyevna, Litvinskaya Olga Sergeevna.....	29
DECISION SUPPORT IN AGRICULTURAL INSURANCE BASED ON YIELD ANALYSIS Kindaev Alexander Yuryevich, Moiseev Alexander Vladimirovich.....	36
MATHEMATICAL MODELING OF CARBON BLACK DISTRIBUTION AS A RESULT OF PLANE CONVECTIVE DIFFUSION DURING OPEN COMBUSTION OF A SUBSTANCE IN A CLOSED LIMITED SPACE Kuzina Valentina Vladimirovna, Koshev Nikolay Alexandrovich, Chirkin Kirill Denisovich, Koshev Alexander Nikolaevich.....	41
RESONANCE METHOD OF DIAGNOSTICS OF DC MOTOR Ulyanov Alexander Dmitrievich.....	47
DECISION SUPPORT METHODS FOR DAIRY FARMING MANAGEMENT Akimov Sergey Sergeevich, Borovsky Alexander Sergeevich.....	53
DEVELOPMENT OF THE SCADA-PROJECT OF THE EVAPORATION PROCESS IN THE PRODUCTION OF CONDENSED MILK Borodulin Dmitry Mikhailovich, Safonova Elena Aleksandrovna, Potapova Marina Nikolaevna.....	59

FOOD TECHNOLOGY

RESEARCH OF THE DIET OF STUDENTS AS A PREREQUISITE FOR THE DEVELOPMENT OF A DRINK FROM PUMPKIN PULP Shkolnikova Marina Nikolaevna, Abbazova Venera Nagimovna, Rozhnov Evgeny Dmitrievich.....	66
INFLUENCE OF LACTATE-CONTAINING ADDITIVES AND TURMERIC ON THE QUALITY AND SAFETY OF SEMI-FINISHED MEAT PRODUCTS IN THE PROCESS OF STORAGE Asfondiarova Irina Vladimirovna, Demchenko Vera Artemovna, Beskorovayny Nikolay Dmitrievich.....	72

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND FORMULATION OF DOLMA USING SHRIMP MEAT

Zachesova Inessa Alexandrovna, Shagaeva Natalia Nikolaevna,

Gorbacheva Maria Vladimirovna, Pogosyan Lia Gaykovna.....78

TECHNOSPHERE SAFETY

IMPROVING OCCUPATIONAL SAFETY TAKING INTO ACCOUNT

THE SERVICE LIFE RELOADING EQUIPMENT

Narusova Elena Yurievna, Nikulin Constantin Sergeevich, Struchalin Vladimir Gaiozovich.....85

LEVEL CONTROL CRITERIA OF OCCUPATIONAL SAFETY FOR THE

ORGANIZATION OF A DIGITAL MONITORING SYSTEM ON A CONSTRUCTION SITE

Nam Galina Evgenievna, Gorbunova Olga Vladimirovna.....90

УДК 004.891:681.5

EDN: ACYJOO

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ И ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА

© Автор(ы) 2023

SPIN: 9941-2749

AuthorID: 850287

ORCID: 0000-0001-6050-6781

ResearcherID: Y-7691-2018

ScopusID: 57223090853

ТИХОНОВ Мартин Робертович, кандидат технических наук
доцент института СПИНТех

*Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
(124482, Россия, Москва, город Зеленоград, 352-23, e-mail: kurotenshi91@yandex.ru)*

Аннотация. Оценка вероятности отказа в автоматизированных системах управления технологическим процессом позволяет сформировать решения по улучшению показателей эффективности системы или процесса. Для прогнозирования надежности системы в определенном периоде функционирования применяется регрессионный анализ. В данной статье рассматриваются особенности одномерной и полиномиальной регрессий в приложении к задачам численного расчета вероятности отказа. Представлены результаты сравнительного анализа плодотворности методов одномерной и полиномиальной регрессий в типовых для управляемого процесса ситуациях: сопоставимые значения вероятности отказа прошлых периодов, резкое последовательное уменьшение значений вероятности отказа, резкое последовательное увеличение значений вероятности отказа. В ходе анализа установлены границы применимости данных методов регрессии в задачах оценки вероятности отказа в будущем периоде работы системы.

Ключевые слова: отказ, предвестники отказов, автоматизированное управление, одномерная регрессия, полиномиальная регрессия, регрессионный анализ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPLICATION OF UNIVARIATE AND POLYNOMIAL REGRESSION TO ESTIMATE THE PROBABILITY OF FAILURE

© The Author(s) 2023

TIKHONOV Martin Robertovich, candidate of technical sciences, associate professor
*SPINTech institute National Research University of Electronic Technology «MIET»
(124482, Russia, Moscow, Zelenograd, 352-23, e-mail: kurotenshi91@yandex.ru)*

Abstract. Evaluation of the probability of failure in automated process control systems allows you to form solutions to improve the efficiency of the system or process. To predict the reliability of the system in a certain period of operation, regression analysis is used. This article discusses the features of univariate and polynomial regressions as applied to the problems of numerical calculation of the probability of failure. The results of a comparative analysis of the fruitfulness of the methods of univariate and polynomial regression in typical situations for a controlled process are presented: comparable values of the probability of failure of past periods, a sharp successive decrease in the values of the probability of failure, a sharp successive increase in the values of the probability of failure. In the course of the analysis, the limits of applicability of these regression methods in the problems of assessing the probability of failure in the future period of the system operation were established.

Keywords: failure, failure precursors, automated control, univariate regression, polynomial regression, regression analysis.

Для цитирования: Тихонов М.Р. Сравнительный анализ применения одномерной и полиномиальной регрессии для оценки вероятности отказа / М.Р. Тихонов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 8-11. – EDN: ACYJOO.

Введение. Для обеспечения выработки управляющего воздействия и принятия решения о ремонте или настройке автоматизированной системы управления технологическими процессами необходимыми данными являются прогнозируемые значения характеристик системы. На основе этих данных формируется стратегия развития системы управления или совершенствования процесса. Одной из прогнозируемых ситуаций является возникновение отказа, который может привести как к ухудшению

качества выходного продукта управляемого процесса, так и к выходу из строя технологического оборудования. Для прогнозирования будущей ситуации по известным данным о состояниях в текущем времени и в прошлых периодах можно использовать методы одномерной и полиномиальной регрессии. Актуальным является сравнительный анализ их математических аппаратов и эффективности в решении задачи прогнозирования вероятности отказа.

Методология. Целью данной работы является

установление границ применимости и точности одномерной и полиномиальной регрессий для оценки вероятности отказа в автоматизированных системах управления путем экстраполяции на основе данных прошлых периодов.

Для аппроксимации функции необходимо располагать ее значениями в четырех точках, что сопряжено с ограничениями и потребностью в сборе данных за соответствующие периоды в прошлом, за которые могут быть приняты экономически обоснованные временные промежутки, обеспечивающие согласованность процессов технологического и управленческого характера. Рассматривая кварталы года в качестве таких периодов, можно добиться определенной синхронизации. Для нормирования показателей кварталов в пределах года можно приписать им удельные веса: 0; 0,25; 0,5; 0,75 соответственно для прошлых периодов и 1 в качестве веса будущего периода.

Получение значения в новой точке (будущем периоде) x_i с применением одномерной регрессии осуществляется по формуле:

$$y_i^* = \omega_1 + \omega_2 x_i,$$

где y_i^* – значение функции в точке x_i ; ω – вектор параметров функции. При применении полиномиальной регрессии значение в той же точке находится по формуле:

Применяя полученные произведения, можно рассчитать вектор параметров функции значений периодов для одномерной регрессии как

$$\omega = (A^T A)^{-1} A^T p = \begin{pmatrix} 0,7 & 0,4 & 0,1 & -0,2 \\ -1,2 & -0,4 & 0,4 & 1,2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_4 \\ p_3 \\ p_2 \\ p_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,7p_4 + 0,4p_3 + 0,1p_2 - 0,2p_1 \\ -1,2p_4 - 0,4p_3 + 0,4p_2 + 1,2p_1 \end{pmatrix},$$

и полиномиальной регрессии как

$$\omega = (A^T A)^{-1} A^T p = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -7,33 & 12 & -6 & 1,33 \\ 16 & -40 & 32 & -8 \\ -10,66 & 32 & -32 & 10,66 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_4 \\ p_3 \\ p_2 \\ p_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_4 \\ -7,33p_4 + 12p_3 - 6p_2 + 1,33p_1 \\ 16p_4 - 40p_3 + 32p_2 - 8p_1 \\ -10,66p_4 + 32p_3 - 32p_2 + 10,66p_1 \end{pmatrix},$$

где p_i – значения вероятности отказа в точках прошлых периодов.

Применяя формулы расчета значений в точке и векторы параметров, можно получить значение вероятности отказа в будущем периоде для одномерной регрессии

$$p_0^o = (0,7p_4 + 0,4p_3 + 0,1p_2 - 0,2p_1) + (-1,2p_4 - 0,4p_3 + 0,4p_2 + 1,2p_1)x_0$$

и для полиномиальной регрессии

$$p_0^p = p_4 + (-7,33p_4 + 12p_3 - 6p_2 + 1,33p_1)x_0 + (16p_4 - 40p_3 + 32p_2 - 8p_1)x_0^2 + (-10,66p_4 + 32p_3 - 32p_2 + 10,66p_1)x_0^3.$$

Полученные формулы могут быть использованы для расчета значения вероятности отказа автоматизированной системы управления технологическим процессом в будущих периодах эксплуатации по известным показателям прошлых периодов, соответствующих и нормализованных по кварталам года.

Результаты. Сравнительный анализ одномерной и полиномиальной регрессии проводился для следующих типовых ситуаций:

- сопоставимые значения вероятности отказа прошлых периодов;
- резкое последовательное уменьшение значений

$$y_i^* = \sum_{j=1}^n \omega_j x_i^{j-1},$$

где y_i^* – значение функции в точке x_i ; ω – вектор параметров функции.

Для каждого из вариантов необходимо рассчитать вектор параметров. С учетом выбранных точек прошлых периодов 0; 0,25; 0,5; 0,75 при расчете вектора параметров одномерной регрессии применяется матрица подстановок вида

$$A = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & x_3 \\ 1 & x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0,25 \\ 1 & 0,5 \\ 1 & 0,75 \end{pmatrix},$$

а для полиномиальной регрессии – матрица Вандермонда

$$A = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ 1 & x_3 & x_3^2 & x_3^3 \\ 1 & x_4 & x_4^2 & x_4^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,25 & 0,0625 & 0,0156 \\ 1 & 0,5 & 0,25 & 0,125 \\ 1 & 0,75 & 0,5625 & 0,4219 \end{pmatrix}.$$

Оба варианта регрессии предполагают вычисление произведения $(A^T A)^{-1} A^T$. Так для принятых точек прошлых периодов и одномерной регрессии оно примет вид

$$(A^T A)^{-1} A^T = \begin{pmatrix} 0,7 & 0,4 & 0,1 & -0,2 \\ -1,2 & -0,4 & 0,4 & 1,2 \end{pmatrix},$$

а для полиномиальной регрессии:

$$(A^T A)^{-1} A^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -7,33 & 12 & -6 & 1,33 \\ 16 & -40 & 32 & -8 \\ -10,66 & 32 & -32 & 10,66 \end{pmatrix}.$$

Применяя полученные произведения, можно рассчитать вектор параметров функции значений периодов для одномерной регрессии как

$$\omega = (A^T A)^{-1} A^T p = \begin{pmatrix} 0,7 & 0,4 & 0,1 & -0,2 \\ -1,2 & -0,4 & 0,4 & 1,2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_4 \\ p_3 \\ p_2 \\ p_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,7p_4 + 0,4p_3 + 0,1p_2 - 0,2p_1 \\ -1,2p_4 - 0,4p_3 + 0,4p_2 + 1,2p_1 \end{pmatrix},$$

и полиномиальной регрессии как

$$\omega = (A^T A)^{-1} A^T p = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -7,33 & 12 & -6 & 1,33 \\ 16 & -40 & 32 & -8 \\ -10,66 & 32 & -32 & 10,66 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_4 \\ p_3 \\ p_2 \\ p_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_4 \\ -7,33p_4 + 12p_3 - 6p_2 + 1,33p_1 \\ 16p_4 - 40p_3 + 32p_2 - 8p_1 \\ -10,66p_4 + 32p_3 - 32p_2 + 10,66p_1 \end{pmatrix},$$

где p_i – значения вероятности отказа в точках прошлых периодов.

Применяя формулы расчета значений в точке и векторы параметров, можно получить значение вероятности отказа в будущем периоде для одномерной регрессии

$$p_0^o = (0,7p_4 + 0,4p_3 + 0,1p_2 - 0,2p_1) + (-1,2p_4 - 0,4p_3 + 0,4p_2 + 1,2p_1)x_0$$

и для полиномиальной регрессии

$$p_0^p = p_4 + (-7,33p_4 + 12p_3 - 6p_2 + 1,33p_1)x_0 + (16p_4 - 40p_3 + 32p_2 - 8p_1)x_0^2 + (-10,66p_4 + 32p_3 - 32p_2 + 10,66p_1)x_0^3.$$

Полученные формулы могут быть использованы для расчета значения вероятности отказа автоматизированной системы управления технологическим процессом в будущих периодах эксплуатации по известным показателям прошлых периодов, соответствующих и нормализованных по кварталам года.

Результаты. Сравнительный анализ одномерной и полиномиальной регрессии проводился для следующих типовых ситуаций:

- сопоставимые значения вероятности отказа прошлых периодов;
- резкое последовательное увеличение значений вероятности отказа.

Данные тестовых значений вероятности за прошлые периоды, используемые при сравнительном анализе одномерной и полиномиальной регрессии, представлены в таблице 1.

Графическое представление результатов одномерной и полиномиальной регрессий первой ситуации отображено на рисунке 1.

Графическое представление результатов одномерной и полиномиальной регрессий второй ситуации отображено на рисунке 2.

Таблица 1 – Значения вероятности отказа за прошлые периоды для рассматриваемых ситуаций

Ситуация	Текущий период (p_1)	Прошлый период (p_2)	Позапрошлый период (p_3)	Позапозапрошлый период (p_4)
1	0,19	0,14	0,17	0,15
2	0,1	0,5	0,1	0,2
3	0,8	0,8	0,4	0,2

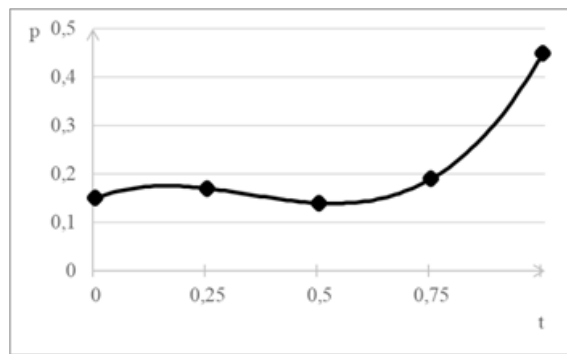
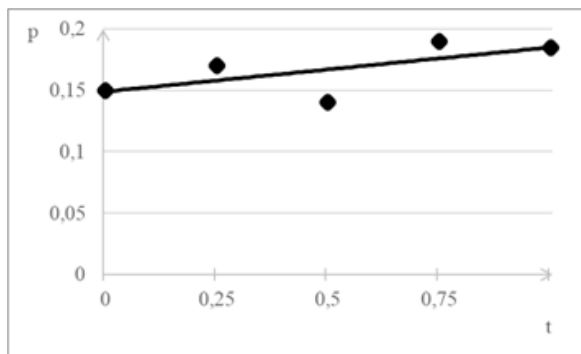


Рисунок 1 – Графики одномерной и полиномиальной регрессий первой рассматриваемой ситуации

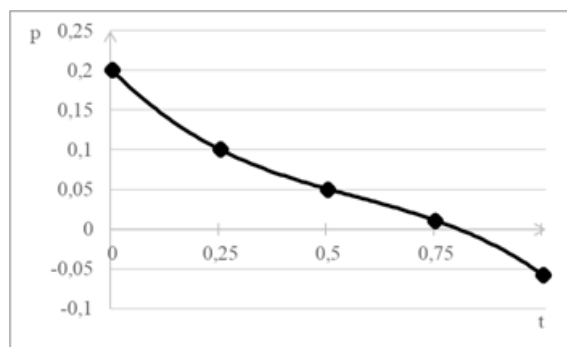
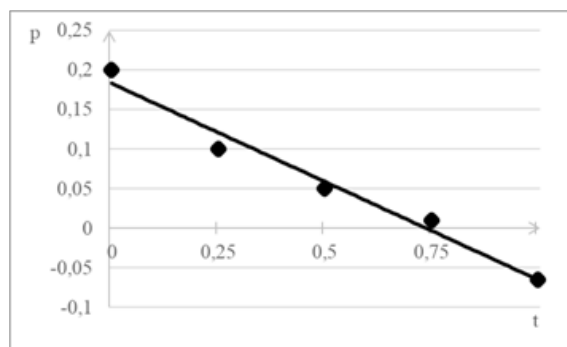


Рисунок 2 – Графики одномерной и полиномиальной регрессий второй рассматриваемой ситуации

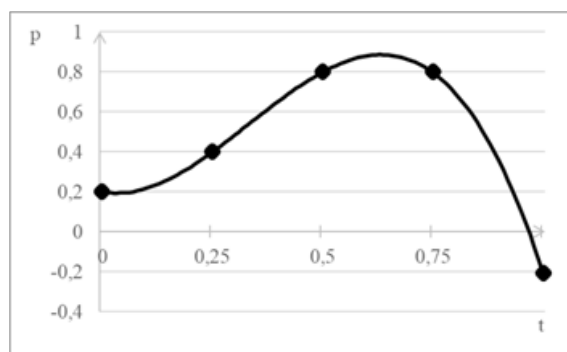
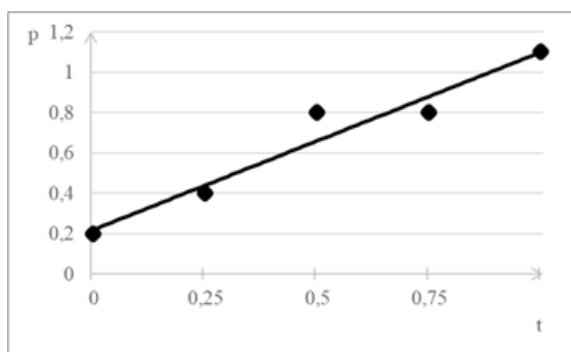


Рисунок 3 – Графики одномерной и полиномиальной регрессий третьей рассматриваемой ситуации

Графическое представление результатов одномерной и полиномиальной регрессий третьей ситуации отображено на рисунке 3.

Анализируя и сопоставляя результаты расчета значений вероятности отказа в будущем периоде с применением одномерной и полиномиальной регрессий можно сделать следующие выводы:

- полиномиальная регрессия не применима для ситуаций, в которых значения изменяются плавно и не монотонно (возрастание, убывание);
- при плавных изменениях значений вероятности отказов в прошлых периодах при наличии изменений

(без стагнаций значений) более точное значение можно получить с помощью полиномиальной регрессии;

– одномерная регрессия демонстрирует адекватное направление изменения значений в прогнозируемом периоде, однако имеет низкую точность;

– в ситуациях, при которых значения вероятности отказа приближаются к граничным (1 и 0), значение вероятности отказа в будущем (прогнозируемом) периоде выходит за допустимые как с применением одномерной, так и полиномиальной регрессий.

Обсуждение. Каждый из рассмотренных методов линейной регрессии имеет как положительные,

так и отрицательные стороны. Результаты представленного сравнительного анализа одномерной и полиномиальной регрессии могут быть применены для прогнозирования вероятности отказа в будущем периоде по данным прошлых периодов. Можно сделать вывод о том, что применение одномерной или полиномиальной регрессии для этих целей не обеспечивает требуемой точности, полученные с их помощью данные нуждаются в дополнительной математической обработке.

Выводы. В ситуациях сопоставимых значений вероятности отказа в прошлых периодах одномерная регрессия обеспечивает адекватный расчет тренда изменений при низкой точности значения. Рассмотренные методы регрессии требуют доработки с ориентацией на задачи оценки вероятности отказа и могут оказаться полезными при построении программного обеспечения модуля автоматизированной системы управления технологическими процессами. Выдвинутые в работе положения применимы при разработке экспертных систем обнаружения предвестников отказов в части обработки выходных данных с последующей математической обработкой, зависящей от требуемой точности управляемого процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Носков, С.И. Построение линейной регрессии с учетом экспертной информации относительно сравнительной значимости переменных / С.И. Носков // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24. – № 2. – С. 83-86.
2. Носков, С.И. Метод смешанного оценивания параметров линейной регрессии: особенности применения / С.И. Носков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2021. – № 1. – С. 126-132. – DOI 10.17308/sait.2021.1/3377.
3. Елизаров, С.К. Прогнозирование уровня финансовой безопасности организации методами линейной регрессии / С.К. Елизаров, Н.В. Степанова // Сборник научных трудов вузов России "Проблемы экономики, финансов и управления производством". – 2021. – № 48. – С. 77-81.
4. Гурова, Л.П. Особенности линейной парной регрессии и её применение в экономике / Л.П. Гурова // Аллея науки. – 2020. – Т. 1. – № 7(46). – С. 278-282.
5. Ротова, О.М. Основные принципы метода линейной регрессии / О.М. Ротова, А.Д. Шибанова // Теория и практика современной науки. – 2020. – № 1(55). – С. 483-487.
6. Васькин, И.А. Экономический рост, образование и терроризм: опыт количественного анализа / И.А. Васькин, С.В. Цирель, А.В. Коротаев // Социологический журнал. – 2018. – Т. 24. – № 2. – С. 28-65.
7. Фомичева, К.А. Значение регрессионного анализа при анализе деятельности предприятия / К.А. Фомичева, О.А. Дорошева, В.В. Будко // Проблемы устойчивого развития: отраслевой и региональный аспект : Материалы международной научно-практической конференции, Тюмень, 16–17 мая 2019 года / Отв. ред. О.В. Ямова. Том 1. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 258-264.
8. Столбовой, В.С. Применение банками метода регрессионного анализа для оценки вероятности банкротства организаций-клиентов / В.С. Столбовой // Статистика в современном мире: методы, модели, инструменты: Материалы Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 28 мая 2020 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "АзовПринт", 2020. – С. 253-256.
9. Яроменко, Н.Н. Статистическая оценка качества моделей диагностики банкротства для сельскохозяйственных предприятий / Н.Н. Яроменко, Е.С. Степанова, А.Н. Подольяк, М.Ю. Терешенкова // Финансовая экономика. – 2019. – № 6. – С. 99-103.
10. Хамидов, М.К. Модель оценки рисков и анализа пожарной безопасности АЗС / М.К. Хамидов, А.А. Евдокимов // Научные междисциплинарные исследования : сборник статей XIV Международной научно-практической конференции, Саратов, 20 мая 2021 года. – Москва: "КДУ", "Добросвет", 2021. – С. 112-115.
11. Булгаков, А.Е. Системный анализ работоспособности энергоустановки средней мощности / А.Е. Булгаков, А.В. Шавлов // Universum: технические науки. – 2021. – № 11-1(92). – С. 5-7.
12. Титов, В.Г. Алгоритмы управления на базе множественной регрессии инвариантными технологическими системами с электроприводами / В.Г. Титов, О.В. Крюков // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2021. – Т. 64. – № 2. – С. 32-38.
13. Масина, О.Н. Оптимизация параметров динамических моделей управления движением технических систем с учетом нестационарных сил / О.Н. Масина, А.А. Петров // Современные проблемы физико-математических наук: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Орел, 26–29 сентября 2019 года / ФГБОУ ВО "Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева". – Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2019. – С. 300-303.
14. Завьялов В.М. Параметрическая оптимизация автоматизированного электропривода звена робота-манипулятора / В.М. Завьялов, Л.Г. Шпакова, М.А. Шпаков // Труды университета. – 2020. – № 3(80). – С. 143-147.
15. Проневич, О.Б. Автоматизированная система прогнозирования пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков / О.Б. Проневич, И.Б. Шубинский // Надежность. – 2019. – Т. 19. – № 1(68). – С. 48-54.
16. Карпущенко, Н.И. Оценка долговечности стрелочных переводов на железобетонных брусьях / Н.И. Карпущенко, Р.А. Комардинкин // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2(53). – С. 12-20.
17. Сухорученков, Б.И. Оценивание показателей безотказности сложных технических систем по оценкам интенсивности отказов элементов / Б.И. Сухорученков, М.В. О कोरोков // Двойные технологии. – 2019. – № 4(89). – С. 2-9.
18. Изергина, А.Р. Использование машинного обучения для оценки рисков отказа оборудования на предприятиях / А.Р. Изергина // Экономическая безопасность: проблемы, перспективы, тенденции развития: Материалы V Международной научно-практической конференции, Пермь, 05 декабря 2018 года / Пермский государственный национальный исследовательский университет. Том Часть 2. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. – С. 137-140.
19. Непомнящий, Н.В. Оценка отказов рельсов с учётом качества стали / Н.В. Непомнящий, А.Н. Кошевой, Д.В. Величко // Интеллектуальный потенциал Сибири: 27-я Региональная научная студенческая конференция: в 3 частях, Новосибирск, 23–25 сентября 2019 года. Том Часть 3. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – С. 221-226.
20. Методика оценки надежности вычислительной техники с учетом влияния отказов вспомогательного оборудования / С.Н. Полесский, А.В. Востриков, Е.Н. Прокофьева, И.И. Романова // Информационные технологии. – 2019. – Т. 25. – № 4. – С. 241-249.

Статья поступила в редакцию 08.12.2022

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 519.6

EDN: ADOXQV

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ
ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПРИ ОТКРЫТОМ ГОРЕНИИ ВЕЩЕСТВА
В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

© Автор(ы) 2023

SPIN-код: 2866-1323

AuthorID: 572404

ORCID: 0000-0001-7241-3304

ResearcherID: Q-9670-2016

ScopusID: 54079792900

КОШЕВ Николай Александрович, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего профессионального образования
Сколковский институт науки и технологий*

(143026, Россия, г. Москва, ул. Нобеля, 3, e-mail: nikolay.koshev@gmail.com)

SPIN-код: 9075-4096

AuthorID: 642415

ORCID: 0000-0003-4511-7176

ResearcherID: GOP-3388-2022

ScopusID: 57190165261

КУЗИНА Валентина Владимировна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Информационно-вычислительные системы»

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: kuzina@pguas.ru)*

ЧИРКИН Кирилл Денисович, аспирант кафедры «Информационно-вычислительные системы»

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: chirkinkd@gmail.com)*

SPIN-код: 1569-1966

AuthorID: 47930

ORCID: 0000-0003-3057-4980

ResearcherID: AAD-1496-2021

ScopusID: 8900920000

КОШЕВ Александр Николаевич, доктор химических наук,
профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы»

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: koshev@pguas.ru)*

Аннотация. Предложена методика математического моделирования процесса конвективной диффузии технического углерода (сажи) от точечных тепловых источников типа горящей свечи в замкнутом пространстве, продуцирующей поток продуктов сгорания определенной мощности. Для описания процесса конвективной диффузии частиц углерода, не подвергшихся полному сгоранию, и распределения технического углерода, образующегося в результате сферической диффузии, выведены дифференциальные уравнения, позволяющие численно оценить распределение сажи в окрестности источника горения. Поставлена и решена краевая задача для уравнения в частных производных, моделирующего процесс диффузии. Полученное решение позволило выявить закономерности распределения продуктов горения в функции времени горения и расстояния от источника, в частности, существенно нелинейное изменение концентрации сажи вблизи источника. Сформулированные выводы согласуются с известными экспериментальными данными.

Ключевые слова: математическое моделирование, точечный тепловой источник, горение свечи, дифференциальное уравнение, сферическая диффузия.

**MATHEMATICAL MODELING OF SPHERICAL CONVECTIVE DIFFUSION OF COMMERCIAL
CARBON UNDER OPEN COMBUSTION OF A SUBSTANCE IN A LIMITED SPACE**

© The Author(s) 2023

KOSHEV Nikolay Alexandrovich, candidate of physical and mathematical sciences,
computation and data-intensive science and engineering, senior lecturer
Skolkovo Institute of Science and Technology

(143026, Moscow, Nobelya street, 3, e-mail: nikolay.koshev@gmail.com)

KUZINA Valentina Vladimirovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department «Information and computing systems»

CHIRKIN Kirill Denisovich, postgraduate student of the Department «Information and computing systems»

KOSHEV Alexander Nikolaevich, doctor of chemistry science,
professor of the department «Information and computing systems»

Penza State University of Architecture and Construction

(440028, Russia, Penza, German Titov St., 28, e-mails: kuzina@pguas.ru, chirkinkd@gmail.com, koshev@pguas.ru)

Abstract. A technique for mathematical modeling of the process of convective diffusion of carbon black (soot) from point heat sources such as a burning candle in a closed space, producing a flow of combustion products of a certain power, is proposed. To describe the process of convective diffusion of carbon particles that have not undergone complete combustion and the distribution of carbon black formed as a result of spherical diffusion, differential equations have been derived that make it possible to numerically estimate the distribution of soot in the vicinity of the combustion source. A boundary value problem for a partial differential equation simulating the diffusion process is posed and solved. The solution obtained made it possible to reveal regularities in the distribution of combustion products as a function of combustion time and distance from the source, in particular, a significantly nonlinear change in the soot concentration near the source. The formulated conclusions are consistent with known experimental data.

Keywords: mathematical modeling, point heat source, candle burning, differential equation, spherical diffusion.

Для цитирования: Кошев Н.А. Математическое моделирование сферической конвективной диффузии технического углерода при открытом горении вещества в ограниченном пространстве / Н.А. Кошев, В.В. Кузина, К.Д. Чиркин, А.Н. Кошев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 12-16. – EDN: ADOXQV.

Введение. Процесс горения можно рассматривать как химическую реакцию, характеризующуюся выделением тепла и его переносом в ограниченном или неограниченном пространстве с образованием продуктов горения и их конвективным и диффузионным перемещением. Процессы, происходящие в зоне реакции горения, определяются условиями теплопередачи, скоростью конвективного переноса и скоростью диффузии веществ, образующихся при горении.

Процессы, формирующие тепловую обстановку помещения, как и процессы распределения в нем массивных примесей, необходимо рассматривать как процессы, связанные между собой, взаимное влияние которых может оказаться существенным [1-9]. В работах [10-15] рассмотрены некоторые аспекты математического моделирования тепловых процессов, происходящих при горении свечей в ограниченном пространстве (например, в православном храме). В данной работе рассматривается задача математического моделирования распределения массивных результатов горения, в частности микрочастиц сажи и углекислого газа в помещении при горении источников, которые можно классифицировать, как точечные, т.е. ассоциирующихся с определенной пространственной координатой замкнутого пространства. Нужно отметить, что выделяемые в процессе горения углекислый газ, копоть и сажа оказывают негативное влияние на состояние воздуха в помещении, загрязняют твердые поверхности и, как следствие, ухудшают санитарно-гигиенические показатели воздушной среды и эстетику интерьера.

Целью работы является повышение точности математического моделирования процесса сферической диффузии технического углерода при горении точечного источника в закрытом помещении. Для достижения цели решаются задачи:

1) создание математической модели в виде краев-

вой задачи для дифференциального уравнения в частных производных параболического типа, описывающего процесс распределения сажи;

2) разработка метода численного исследования процесса сферической диффузии;

3) проведение и анализ результатов численных расчетов.

Методология. *Обобщенная математическая модель.* В основу построения математических зависимостей, описывающих процессы распределения продуктов горения в точечных источниках, положим классическое представление о конвективной диффузии, т.е. совместные уравнения переноса массы в движущемся потоке и уравнения молекулярной диффузии, вызванной градиентами парциальных концентраций ∇C_i , температуры ∇T и общего давления ∇p [16]:

$$\rho \frac{dC_i}{dt} = \text{div} \left(\rho D_i \left(\nabla C_i + \frac{K_T}{T} \nabla T + \frac{K_p}{p} \nabla p \right) \right) + J_{vk} . \quad (1)$$

Здесь C_i , $i = 1, 2$ – соответственно концентрации углекислого газа и сажи; ρ – плотность среды; J_{vk} – источник массы; D_i , K_T и K_p – соответственно коэффициенты диффузии, термодиффузионный коэффициент и бародиффузионный коэффициент; div – дивергенция (сумма частных производных) рассматриваемых векторов.

Заметим, что источник массы может возникать в процессе фазовых или химических превращений. Отметим также, что эффектами термодиффузии и бародиффузии часто можно пренебречь в сравнении с диффузией, вызванной градиентами концентраций молекул рассматриваемых веществ. В этом случае уравнение (1) существенно упрощается:

$$\rho \frac{dC_i}{dt} = \text{div}(\rho D_i \nabla C_i) + J_{vk} . \quad (2)$$

В случае, когда коэффициенты D_i , K_T и K_p суть постоянные величины (что справедливо в большинстве практических случаев), уравнение (2)

можно представить в виде:

$$\rho \frac{dC_i}{d\tau} + w_i \nabla C_i = D_i \nabla^2 C_i + J_{V_k}. \quad (3)$$

Уравнение (3) будет рассматриваться далее как базовое для дальнейшего решения поставленных задач по математическому моделированию распределения массивных примесей в ограниченном пространстве, возникающих в результате горения точечного источника.

Результаты математического моделирования. Сферическая диффузия. В условиях отсутствия источников массы в других точках пространства, кроме источника горения, находящегося на границе области решения краевой задачи, уравнение (3) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial C_i}{\partial \tau} = D_i \Delta C_i, \quad (4)$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа. В дальнейшем индекс i для удобства записи будет опущен там, где это допустимо благодаря универсальности уравнений и их преобразований. Перевод (4) в сферическую систему координат приводит к уравнению

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right), \quad (5)$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – радиус-вектор точки с координатами (x, y, z) . Решение уравнения удобно осуществлять относительно новой функции $V(r; \tau) = rC(r; \tau)$, для которой уравнение (5) преобразуется к виду

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 V}{\partial r^2}. \quad (6)$$

Предположим, что в начале координат действует источник загрязнения окружающего пространства продуктами горения постоянной мощности, выделяющий в единицу времени некоторое количество q загрязняющего вещества. Очевидно, что во всех других точках окружающего пространства $r \neq 0$ начальная концентрация продуктов горения равна нулю, $C(r; 0) = 0$, а, следовательно, и $V(r; 0) = 0$. Отметим, что это условие является начальным для уравнения (6).

Выведем граничное условие для функции $V(r; t)$ при $r = 0$. Вокруг начала координат опишем сферу S_ε радиуса ε и запишем выражение для определения потока загрязняющего вещества через окрестность точки $r = 0$, то есть через описанную сферу S_ε :

$$\iint_{S_\varepsilon} \frac{\partial C}{\partial r} d\sigma. \quad (7)$$

Переходя к пределу по $\varepsilon \rightarrow 0$, получим

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(- \iint_{S_\varepsilon} \frac{\partial C}{\partial r} d\sigma \right) = q. \quad (8)$$

С учетом того, что площадь поверхности сферы радиуса r равна $4\pi r^2$, можно записать для производной:

$$- \frac{\partial C}{\partial r} \cdot 4\pi r^2 \Big|_{r=\varepsilon} \rightarrow q \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0. \quad (9)$$

Это означает, что при $r=0$ функция имеет особенность вида $V \approx q / 4\pi r$, а произведение $rC = V$ остается ограниченным при $r=0$, т.е. $C \rightarrow q / 4\pi r$ при $\varepsilon \rightarrow 0$, что позволяет сформулировать граничное и начальное условия для уравнения (6):

$$V(0, \tau) = \frac{q}{4\pi} = V_0, \quad V(r, 0) = 0. \quad (10)$$

Решение дифференциального уравнения (6) при условиях (10) может быть записано в виде [17]

$$V(r, \tau) = V_0 \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{r}{2\sqrt{D\tau}}}^{\infty} e^{-\alpha^2} d\alpha \quad (11)$$

или представлено через интеграл вероятности как $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} e^{-\alpha^2} d\alpha$, при $z = \frac{r}{2\sqrt{D\tau}}$:

$$V(r, t) = V_0 \left[1 - \Phi \left(\frac{r}{2\sqrt{D\tau}} \right) \right]. \quad (12)$$

Окончательно для распределения концентрации вдоль радиуса с течением времени получим

$$C(r, \tau) = \frac{q}{4\pi r} \left[1 - \Phi \left(\frac{r}{2\sqrt{D\tau}} \right) \right]. \quad (13)$$

или

$$C(r, t) = \frac{2q}{4\pi r \sqrt{\pi}} \cdot \int_{\frac{r}{2\sqrt{D\tau}}}^{\infty} e^{-\alpha^2} d\alpha. \quad (14)$$

Метод расчета. Алгоритм численных расчетов по уравнению (14) реализован на языке программирования *Python* с библиотеками/модулями *Numpy*, *Scipy* и *Matplotlib*. Время расчета в вычислительной системе с использованием многоядерного процессора повышенной производительности *Apple M1 Max*, возможности которого позволяют выполнять ресурсоемкие задачи, составило в среднем 3 секунды, объем использованной оперативной памяти – около 5 Гб.

Результаты. Расчеты были выполнены для следующих отдельных значений и интервалов значений переменных величин и физико-химических параметров и констант: $q=10^{-12}$ – мощность источника сферической диффузии, г/см³; $R=[5, 10]$ – расстояние от центра, см; $D=0,1$ – коэффициент термоконвективной диффузии, см²/с [18]; $t = [0, 1800]$ – время действия источника, с.

Результат расчета в графическом виде представлен на рисунке 1.

Обсуждение. Результаты расчетов, приведенные на рисунке 1, показывают:

- 1) существенно нелинейное снижение количества продуктов горения при увеличении расстояния от точки горения при заданном времени горения;
- 2) существенно нелинейное увеличение количества продуктов горения при увеличении времени горения при малом расстоянии от точки горения и приближение к линейной зависимости концентрации продуктов горения от времени при увеличении расстояния от точки горения.

Установленные тенденции не противоречат известным экспериментальным данным.

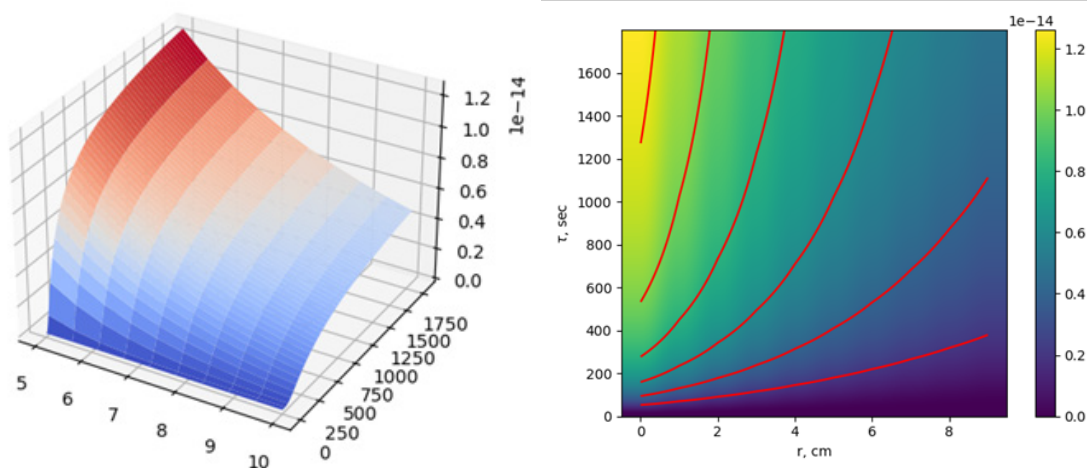


Рисунок 1 – Графики сферической диффузии продуктов горения

Выводы. В результате математического моделирования сформулирована краевая задача для уравнения параболического типа, ориентированная на расчет распределения продуктов горения (технического углерода) при горении точечного источника со сферической диффузией вещества. Получены математические уравнения, позволяющие проводить численные эксперименты и анализировать тенденции распределения продуктов горения точечного источника в сферических координатах [16–20]. Проведен первичный анализ результатов расчетов.

Полученная математическая модель процесса распределения продуктов горения и предложенная методика компьютерного эксперимента показывают эффективность использования математического моделирования для решения задач тепловой диффузии, подобных рассмотренным в настоящей работе, и обосновывают направления дальнейшего совершенствования математических моделей и методов расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Евсина, Е.М. Математическая модель процессов воздухообмена, кондиционирования, отопления и систем горячего водоснабжения при проектировании объекта «Зелёное строительство» / Е.М. Евсина, Е.А. Немерицкая, К.С. Корнева, М.А. Беззубикова // В сборнике: «Потенциал интеллектуально одарённой молодежи – развитию науки и образования». Материалы VIII Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. В 2-х томах. Под общ. ред. Т.В. Золиной. – Издательство: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (Астрахань). – 2019. – С. 122-126.
2. Килин, П.И. Исследование закономерностей диффузионного распространения вредных примесей / П.И. Килин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 1(9). – С. 66-78.
3. Кочев, А.Г. Теплообмен в зданиях и инженерном оборудовании: учеб. пособие / А.Г. Кочев, М.М. Соколов, Е.А. Кочева, А.С. Москаева. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. – 88 с. ISBN 978-5-528-00212-5.
4. Кривошеин, М.А. Математическое моделирование распределения воздуха в системах вентиляции жилых зданий / М.А. Кривошеин, А.Д. Кривошеин // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 12. – С. 72-80.
5. Кузина, В.В. Математическое моделирование процессов переноса пассивной примеси в ограниченном пространстве / В.В. Кузина, А.Н. Кошев // Региональная архитектура и

строительство. – 2017. – № 4(33). – С. 133-141.

6. Кузина, В.В. Математическое и компьютерное моделирование в задачах строительства и технической безопасности: моногр. / Кузина В.В., Кошев А.Н. – Пенза: ПГУАС, 2019. – 136 с. ISBN 978-5-9282-1587-3.

7. Пророкова, М.В. Математическое моделирование теплообмена в помещении для решения задач энергосбережения / Пророкова М.В., Бухмиров В.В. // Материалы международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции. – Том II. – 2019. – Издательство: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина (Иваново). – С. 260-263.

8. Рогова, Т.Н. Решение задачи оптимизации при проектировании устройств местной вытяжной вентиляции / Т.Н. Рогова. // В сборнике: «Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте». – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены Роспотребнадзора. – 2016. – С. 50-56.

9. Чуйкин, С.В. Математическое моделирование потоков воздуха в помещении при организации вытесняющей вентиляции / С.В. Чуйкин, С.Г. Тульская, К.А. Скляров, Е.О. Благовестная // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2(7). – С. 15-20.

10. Кузина, В.В. Математическое моделирование распределения конвективного потока над компактно расположенными точечными тепловыми источниками / В.В. Кузина, А.Н. Кошев, А.И. Еремкин // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 1 (50). – С. 75-80.

11. Еремкин А.И. Разработка и апробация методики расчета воздухообмена на основе определения концентрации сажи и копоти в воздухе при сгорании церковных свечей в православных культовых сооружениях / А.И. Еремкин, А.Г. Аверкин, И.К. Пономарева // Приволжский научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 119-127.

12. Еремкин, А.И. Исследование влияния конвективных потоков от отопительных приборов на климатические условия и сохранность убранства в залах богослужения церковью, храмов, соборов. / А.И. Еремкин, К.А. Петрова, И.К. Пономарева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 150-157.

13. Кочев, А.Г. Экспериментальное определение аэродинамических характеристик культовых зданий и сооружений / А.Г. Кочев, М.М. Соколов, Е.А. Пак // Приволжский научный журнал. – 2020. – № 4 (56). – С. 119-124.

14. Кочев, А.Г. Внутренняя и внешняя аэродинамика православных храмов / А.Г. Кочев, М.М. Соколов // В сборнике: Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году. Сборник научных трудов РААСН. – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук. – 2022. – С. 150-156.

15. Старкова, Л.Г. Оптимизация микроклимата в пра-

вославном храме методом числового моделирования воздушных потоков / Л.Г. Старкова, Ю.А. Морева, Ю.Н. Новоселова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18. – № 3. – С. 53-59.

16. Шепелев, И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении / И.А. Шепелев. – М.: Стройиздат, 1978. – 144 с.

17. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1966. – 724 с.

18. Справочник по элементарной физике / Н.Н. Кошкин, М.Г. Ширкевич. – М., Наука. 1976. – 256 с.

19. Поршнев, С.В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCAD / С.В. Поршнев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 252 с.

20. Будак, Б.М. Сборник задач по математической физике / Б.М. Будак, А.А. Самарский, А.Н. Тихонов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1972. – 668 с.

Статья поступила в редакцию 14.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 004.942
EDN: AFJKXK

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

© Автор(ы) 2023
SPIN-код: 7198-5521
AuthorID: 415365
ORCID: 0000-0002-7495-1090
ScopusID: 57204969256

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

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

Аннотация. В условиях экономической глобализации интеллектуальное производство привлекает большое внимание ученых и руководителей промышленности. Связанные вспомогательные технологии делают обрабатывающую промышленность более интеллектуальной и более эффективной. Как одна из ключевых технологий искусственного интеллекта, управление большими данными, анализ данных повышает рыночную конкурентоспособность обрабатывающей промышленности за счет извлечения скрытых ценных знаний и потенциальных возможностей. Промышленные большие данные помогают руководителям предприятий принимать взвешенные решения в сложных, нестабильных производственных условиях. Идеи классического анализа карт контроля качества получили продолжение в интеллектуальном производстве, связанном с анализом больших данных. В статье на практических примерах показана применимость технологий, основанных на больших данных, в интеллектуальном производстве, включая использование основных аналитических преимуществ и внутренней мотивации. Выявлены источники формирования больших данных на производстве, проанализирована возможность структурирования данных. Показана необходимость облачного хранения производственных данных, выбора адекватных средств защиты информации. Сформулирована концептуальная основа интеллектуального принятия решений в отношении промышленных технологий, основанных на больших данных. Уделено внимание развитию зелёного производства и реализации ответственного подхода к принятию решений по энергозатратам производства. Предложена схема процесса принятия решений для внедрения промышленных технологий, управляемых большими данными. Выявлена возможность разработки качественных решений производственных проблем и рассмотрены перспективные направления исследований в этой области.

Ключевые слова: промышленные большие данные, интеллектуальное производство, анализ данных, поддержка принятия решений, киберфизическая система.

MAKING DECISIONS BASED ON INDUSTRIAL BIG DATA

© The Author(s) 2023

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

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

Abstract. In the context of economic globalization, smart manufacturing attracts a lot of attention from scientists and industry leaders. Related assistive technologies are making the manufacturing industry smarter and more efficient. As one of the key technologies of artificial intelligence, big data management, data analysis enhances the market competitiveness of the manufacturing industry by extracting hidden valuable knowledge and potential opportunities. Industrial big data helps business leaders make informed decisions in complex, volatile manufacturing environments. The ideas of the classical analysis of quality control maps have been continued in the intellectual production associated with the analysis of big data. The article, using practical examples, shows the applicability of technologies based on big data in intellectual production, including the use of basic analytical advantages and intrinsic motivation. The sources of big data formation in production are identified, the possibility of data structuring is analyzed. The necessity of cloud storage of production data, the choice of adequate means of information protection is shown. The conceptual framework for intelligent decision-making in relation to industrial technologies based on big data is formulated. Attention is paid to the development of green production and the implementation of a responsible approach to decision-making on energy costs of production. A scheme of the decision-making process for the introduction of industrial technologies driven by big data is proposed. The possibility of developing high-quality solutions to production problems is revealed and promising areas of research in this area are considered.

Keywords: industrial big data, intelligent manufacturing, data analysis, decision support, cyber-physical system.

Для цитирования: Прокофьев О.В. Принятие решений на основе производственных больших данных / О.В. Прокофьев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 17-22. – EDN: AFJKXK.

Введение. В настоящее время данные, создаваемые обрабатывающей промышленностью, характеризуются сверхвысоким размером, неявными закономерностями [1] и для их использования применяются модели потоков данных, адекватные для конкретной производственной среды [2]. Анализ больших данных может дать преимущества производственному сектору благодаря взаимной поддержке новых технологий Индустрии 4.0 (четвёртой промышленной революции). Процесс анализа данных направлен на повышение обоснованности принятия решений [3] и позволяет оптимизировать функционирование всей производственной системы в соответствии с внутренней структурой предприятия, производственными ресурсами для обеспечения максимальной экономической выгоды. Решения на основе анализа больших данных и интеллектуальных вычислений используются для уменьшения сложности решений и когнитивной нагрузки при обработке больших объемов данных [4]. Производственная компания выбирает сильную стратегию, основанную на данных, для повышения своей конкурентоспособности [5]. Характеристики больших данных в промышленности можно обобщить и определить таким же образом, как и в других сферах: высокий объём, высокая скорость генерирования и обновления, высокое разнообразие (данные, полученные из разных источников, используются в разных формах), высокая точность и высокая ценность.

Обрабатывающая промышленность переживает революционную информационную и интеллектуальную трансформацию [6], при которой важно обеспечить коммуникации по запросу для обеспечения высокой надежности, масштабируемости и доступности производственных систем. Интеллектуальное производство охватывает многие аспекты производственной сферы, не только технологию, но и интеграцию всех аспектов производственной сферы и информационных технологий с целью преобразования данных, полученных на протяжении всего жизненного цикла продукта, в производственный интеллект, чтобы оказать положительное влияние на все аспекты производственной деятельности. Добыча и анализ данных, связанных с качеством продукции, могут обеспечить поддержку принятия решений для контроля качества и гарантии в производственной системе. Интеллектуальное производство направлено на создание высокоинтегрированной совместной производственной экосистемы, которая может реагировать на динамически меняющиеся требования и условия окружающей среды во всей цепочке создания стоимости в режиме реального времени. В основе интеллектуального производства лежит взаимосвязь и глубокая интеграция между физическим миром и цифровым миром [7].

С появлением Индустрии 4.0 многие аспекты производственного производства и процессов создания стоимости и бизнес-моделей претерпели

огромные изменения. Компании-производители по всему миру продолжают развиваться в направлении внедрения искусственного интеллекта и цифровые стратегии будут неуклонно повышать их конкурентные преимущества.

С дальнейшим развитием технологий хранения и анализа, основанного на больших данных, интеллектуальные решения становятся важной движущей силой для создания основных достижений обрабатывающей промышленности [8].

Целью работы является формулировка концепции принятия решений в области промышленных технологий на основе интеллектуального анализа больших данных.

Эффективное использование возможностей анализа больших данных (*Big Data Analytic Capabilities, BDAC*) имеет важное значение для успешного принятия решений в рамках интеллектуального производства.

Методология. Системы сбора данных, Интернет вещей и кибер-физические системы имеют прямое отношение к промышленным процессам. Большой объем данных собирается и хранится в промышленных базах данных. Масштаб всех промышленных данных постоянно растёт и индустрия вступила в эпоху больших данных. Как правило, большинство технологических данных искажены случайными факторами.

В промышленном процессе входными данными модели прогнозирования часто являются данные процесса, полученные путем статистической выборки.

Однако в действительности лишь несколько наборов данных в промышленном процессе используются и присваивают им метки. Непомеченные данные могут также содержать большое количество информации о производственном процессе. Для того, чтобы максимизировать ценность всех полученных данных, включая данные с метками и без них, применяют метод полуконтролируемой вероятностной регрессии главных компонент (*Semi-Supervised Probabilistic Principal Component Regression, SSPPCR*). Однако применение *SSPPCR* ограничено небольшими наборами данных и не подходит для больших наборов данных, которые увеличиваются каждый день. Фреймворк *MapReduce* используется для работы с распределенным параллельным моделированием и для прогнозирования качества промышленных больших данных. Традиционная *SSPPCR*-модель может быть развернута в среде *MapReduce* посредством обучения и принятия решений в рамках распределенной параллельной модели [9]. Этот метод распределенного параллельного моделирования можно применить ко многим крупномасштабным наборам данных в реальном времени.

Основные требования к процессу обработки больших данных в области производства заключаются в следующем [10]:

– обеспечение расширяемого метода распределения и настройки сенсорного оборудования в рамках

производственного процесса, реализация хранения данных в описательных процессах и моделях;

- поддержка методов для обнаружения и устранения сложных производственных событий в потоке данных размещённых датчиков;

- поддержка методов для хранения данных в реальном времени и выполнение корреляционного анализа больших наборов данных и потоков данных;

- обеспечение методов для постоянной корректировки и адаптации сложных моделей прогнозирования событий;

- функционирование методов создания аварийной подсказки в качестве реакции на отклонение от запланированного производства/целевого показателя производства;

- формирование предложений и применение автоматических методов принятия решений для уменьшения производственных ошибок;

- обеспечение метода активной адаптации к производственному процессу на основе расчета и анализа больших данных.

Архитектура киберфизической системы (*Cyber-Physical Systems, CPS*) производства и анализа больших данных соединяет производственное оборудование с облаком для предоставления произ-

водственных услуг по требованию, которые легко настраиваются и оптимизируются для удовлетворения целевых потребностей.

В эпоху больших данных принятие решений по управлению цепочками поставок все больше зависит от данных, а не от традиционного опыта. В [11] была применена децентрализованная архитектура распределения данных, которая использовала парадигму мягких вычислений для повышения потенциальной доступности данных. Сквозное проектирование всего жизненного цикла продукта относится к интеграции и оцифровке данных, генерируемых на каждом этапе жизненного цикла продукта, для создания новых знаний, связанных с жизненным циклом продукта [12], что включает в себя процесс принятия решений и операции от производства до поставки.

Промышленные большие данные можно условно разделить на системные данные (данные, генерируемые информационными системами) и данные *IoT (Internet of Things, IoT)*, то есть данные, полученные датчиками – считывателями радиочастотной идентификации и сканерами штрих-кодов. Первоисточники промышленных больших данных показаны на рисунке 1.



Рисунок 1 – Источники больших данных в производстве

Результаты. Популярность технологии больших данных изменила традиционную структуру бизнес-модели и бизнес-решения, которые помогают производителям принимать точные решения, уменьшать случайность и нечеткость обратной логистики, а также повышать операционную эффективность и качество обслуживания оборудования для переработки [13]. Производственный процесс потребует много энергии. В последние годы

вступили в силу меры стимулирования, связанные с энергоэффективностью, способствуя общей трансформации производства в сторону устойчивого развития. Концептуальная основа анализа больших данных была предложена для анализа влияния больших данных на перераспределение производства, создания общей стоимости и расширения производственно-сбытовой цепочки [14]. В последние годы все больше и больше производителей прив-

носят модернизацию в производственную систему, чтобы сформировать производственную систему с замкнутым циклом [13]. Принимая во внимание экономические выгоды от переработки, переработка стала для предприятий обязательной стратегической мерой. Была предложена киберфизическая система, основанная на оптимизации процесса обработки на основе больших данных [15], и была разработана новая модель энергоэффективности на протяжении всего жизненного цикла производства с полным учетом динамических отказов и соответствующей корректировки. Перераспределенное производство относится к производственной бизнес-модели, стратегии, системе и технологии, которые изменяют экономику и организацию обрабатывающей промышленности, что тесно связано с производственной средой и масштабом [16]. «Зеленое» производство уделяет внимание высокому уровню эффективности и безопасности, отражая более строгую экологическую политику и более эффективное прогнозирование неисправностей и техническое обслуживание [17]. Анализ больших промышленных данных является важной стратегической темой развития производства. Синергетический эффект промышленных больших данных в сборе данных и инфраструктуре раскрыт в исследовании [18].

Обсуждение. Исследование влияния анализа больших данных на принятие производственных решений является сегодня актуальной темой и новой областью. Тем не менее, развитие промышленных технологий, основанных на больших данных, также сталкивается со многими серьезными проблемами, обусловленными временем [19].

Задачи, стоящие перед промышленными технологиями больших данных на данном этапе, заключаются в следующем:

Проблема управления качеством данных. Высококачественные большие данные играют важную роль в интеллектуальном производстве. Масштаб набора данных часто выходит за пределы допустимого диапазона обычных программных инструментов, что приводит к сужению возможностей обработки данных. Большое количество полезных данных почти не используется.

Проблема безопасности данных и защиты конфиденциальности. Чтобы быть конкурентоспособными на рынке производства, предприятия должны обеспечивать безопасность и надежность данных. Разработка и применение инструментов анализа больших данных требуют больших инвестиций и дополнительной работы, что может потребовать много трудовых и финансовых ресурсов. Существующая технология управления большими данными является дорогостоящей. В настоящее время большинство существующих технологий не могут удовлетворить текущие требования к инфраструктуре, и отсутствует стратегия обмена данными между организациями. Различные типы данных из разных источников могут усложнить интеграцию

данных. Предоставляя пользователям достаточную информацию посредством интеллектуального анализа данных, существует серьезная угроза конфиденциальности информации.

Проблема общности концептуальной основы в реальном производстве. Решение не может описать практический метод представления результатов анализа и фактических условий в реальной производственной среде и не может предоставить полную и правильную информацию для конечных пользователей и лиц, принимающих решения. Большинство концептуальных основ и методов анализа полезны только для определенного типа промышленного производства, но не универсальны в промышленном производстве. Они неадекватно подробно описывают методы процесса анализа данных и не охватывают критические элементы, необходимые для разработки конкретных схем анализа данных.

Проблема обработки интеграции данных в промышленных производственных системах. Промышленные большие данные зашумлены и избыточны, и при потере большого количества ценных данных потери предприятий слишком значительны, а качество данных имеет большое значение для ценности многих предприятий. Объем данных огромен и разнообразен, традиционный анализ данных с однократной обработкой не может быть быстро интегрирован для получения знаний о разнородных данных и целевого значения из-за различных характеристик, безопасности и других причин.

Проблема доступа к первичным производственным данным. Столкнувшись с неполными или неверными данными, непросто извлечь и преобразовать первичные производственные данные. Платформа анализа данных не может напрямую использовать прямые данные в производственной системе для обработки и анализа. Для разъяснений необходимо открыть функцию доступа к данным, экспортировать экземпляры единиц данных для хранения, а затем перейти к этапу предварительной обработки.

Для решения изложенных проблем предлагается концептуальная основа интеллектуального анализа принятия решений на основе промышленной технологии, основанной на больших данных, а также знакомит с функциями и основными идеями дизайна каждой части этой структуры. Она сочетает в себе промышленные большие данные, CPS, и другие технологии (как показано на рисунке 2).

Представленная модель охватывает процесс сбора, хранения, очистки, интеграции, анализа, добычи и визуализации данных. Этот метод развивает совершенно новую парадигму интеллектуального производства, которая фокусируется на динамическом восприятии в реальном времени и точном принятии решений на основе анализа больших данных в производственной среде. Здесь уделяется внимание интерактивности и стандартизации данных, а также скорости обмена между поставщиками и

пользователями данных посредством распределенной обработки данных.

Оптимизация моделирования решается с помощью цифровых двойников, которые можно рассматривать как виртуальные копии физических продуктов, отражающие ситуацию физической работы в реальном времени и реализующие операции моделирования в виртуальных репликах. Чтобы улучшить масштабируемость имитационной модели, необходимо обеспечить безопасность и совместимость потока данных, особенно данных, связанных со временем (таких как конфигурация устройства, взаимодействие человека и машины, маршруты транспортировки и т. д.). Модули автономных компонентов встроены для повышения

адаптивности производственной системы.

Принципы разработки этой интеллектуальной системы анализа решений для промышленных технологий, основанных на больших данных, заключаются в следующем.

Обеспечение передачи данных промышленного производства в режиме реального времени. Цепочка создания стоимости всей производственной системы включает поставщики, материалы, логистика и т. д., участники которой могут координировать действия и сотрудничать в соответствии со своими потребностями для формирования динамичной экосистемы. Эта система должна обеспечивать в режиме реального времени интерактивную обратную связь для услуг и решений в режиме реального времени.

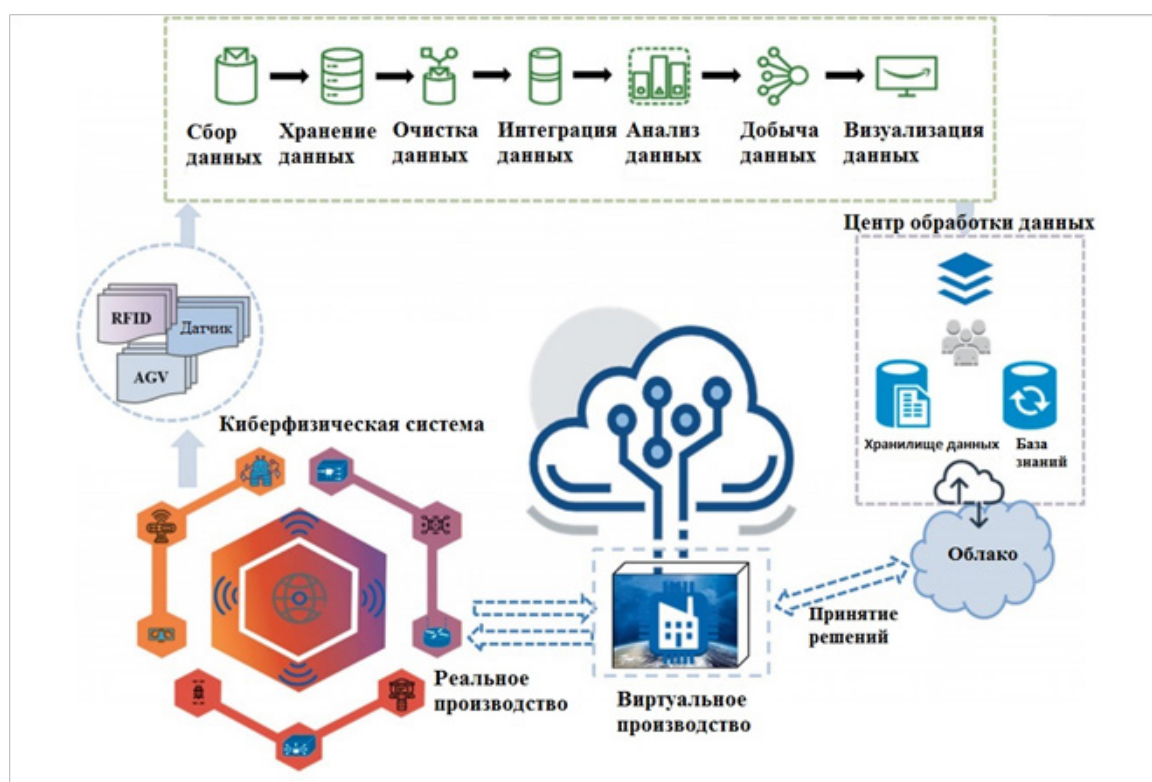


Рисунок 2 – Концептуальная основа интеллектуального анализа принятия решений на основе промышленных технологий, управляемых большими данными.

Обеспечение целостности и безопасности цифровых производственных данных. Сенсорные устройства в распределенных сетях контролируют в режиме реального времени состояние объектов и обработку данных.

Обеспечение взаимодействия между различными технологиями. Построенная структура учитывает технологии виртуализации на всех уровнях системы: может динамически отслеживать процесс производства продукта, прогнозировать рыночный спрос и обеспечивать реконструкцию и оптимизацию производственного процесса.

Выводы. Технология, основанная на больших данных, представлена в области интеллектуального принятия решений в производстве с целью усовершенствовать традиционные производственные

системы и заложить основу для устойчивого производства в будущем. Основное ограничение исследований в этой области связано с учётом требований в смежных областях. Во-первых, с надёжностью – темой, тесно связанной с точными науками, такими как инженерия и математика. Во-вторых, большие данные основаны на информационных технологиях. В реальной производственной деятельности способность к применению информации, потери информации, помехи и другие факторы будут иметь косвенное влияние на принятие производственных решений. Эта концептуальная основа новой парадигмы вводит промышленный анализ больших данных в производственную систему. Однако эта гипотетическая модель анализа больших данных построена в идеальной среде, надёжность

и практичность этой концептуальной основы нуждаются в дальнейшей проверке.

На данном этапе изучение влияния анализа больших данных на принятие решений является актуальным в прикладных областях. Ознакомление с концепцией интеллектуального производства будет полезно исследователям, создающим приложения в области промышленных больших данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. D. Sen, M. Ozturk, O. Vayvay, An overview of big data for growth in smes, in: Proc. ISMC Conf., 2016, pp. 159–167.
2. S. Kumar, K.K. Mohbey, A review on big data based parallel and distributed approaches of pattern mining, J. King. Saud. Univ. Comput. Inf. Sci. doi: 10.1016/j.jksuci.2019.09.006.
3. M. Hammer, K. Somers, H. Karre, C. Ramsauer, Profit per hour as a target process control parameter for manufacturing systems enabled by big data analytics and industry 4.0 infrastructure, in: Proc. CIRP Conf., 2017, pp. 715–720.
4. R. Iqbal, F. Doctor, B. More, S. Mahmud, U. Yousuf, Big data analytics and computational intelligence for cyber-physical systems: Recent trends and state of the art applications, Future Gener. Comput. Syst. 105 (2020) 766–778, <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.10.021>.
5. F. Tao, Q. Qi, A. Liu, A. Kusiak, Data-driven smart manufacturing, J. Manuf. Syst. 48 (2018) pp. 157–169, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>.
6. Y. Liu, A. Soroka, L. Han, J. Jian, M. Tang, Cloud-based big data analytics for customer insight-driven design innovation in smes, Int. J. Inf. Manage. 51(2020) ,<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.11.002102034>.
7. M. Ghobakhloo, N.T. Ching, Adoption of digital technologies of smart manufacturing in smes, J. Ind. Inf. Integr. 16 (2019) ,<https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100107100107>.
8. M. Akerman, C. Lundgren, M. Barring, M. Folkesson, V. Berggren, J. Stahre, U. Engström, M. Friis, Challenges building a data value chain to enable datadriven decisions: A predictive maintenance case in 5g-enabled manufacturing, in: Proc. FAIM Conf., 2018, pp. 411–418.
9. L. Yao, Z. Ge, Big data quality prediction in the process industry: A distributed parallel modeling framework, J. Process Control 68 (2018) pp. 1–13, <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2018.04.004>.
10. R.F. Babiceanu, R. Seker, Big data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook, Comput. Ind. 81 (2016) 128–137, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>.
11. Q. Li, A. liu, Big data driven supply chain management, in: Proc. CIRP Conf., 2019, pp. 1089–1094.
12. R.S. Peres, A.D. Rocha, P. Leitao, J. Barata, Idarts - towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0, Comput. Ind. 101 (2018), pp.138–146, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.07.004>.
13. F. Xu, Y. Li, L. Feng, The influence of big data system for used product management on manufacturing-remanufacturing operations, J. Clean. Prod. 209 (2019) 782–794, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.240>.
14. M. Zaki, B. Theodoulidis, P. Shapira, A. Neely, E. Surekli, The role of big data to facilitate redistributed manufacturing using a co-creation lens: Patterns from consumer goods, in: Proc. CIRP Conf., 2017, pp. 680–685.
15. Y.C. Liang, X. Lu, W.D. Li, S. Wang, Cyber physical system and big data enabled energy efficient machining optimisation, J. Clean. Prod. 187 (2018), pp. 46–62, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.149>.
16. A. Soroka, Y. Liu, L. Han, M.S. Haleem, Big data driven customer insights for smes in redistributed manufacturing, in: Proc. CIRP Conf., 2017, pp. 692–697.
17. R. Foresti, S. Rossi, M. Magnani, C. Guarino Lo Bianco, N. Delmonte, Smart society and artificial intelligence: Big data scheduling and the global standard method applied to smart maintenance, Engineering. doi: 10.1016/j.eng.2019.11.014. .
18. D. flick, f. Kuschieke, m. schweikert, T. Thiele, N. Panten, S. Thiede, C.herrmann, Ascertainment of energy consumption information in the age of industrial big data, in: Proc. CIRP Conf.,

2018, pp. 202–208.

19. C. Li, Y. Chen, and Y. Shang. A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing., Engineering Science and Technology, an International Journal, vol. 29, P. 101021, May 2022, doi: 10.1016/j.jestch.2021.06.001.

Статья поступила в редакцию 26.12.2022

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 004.932

EDN: ALGWMA

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ НА ПРИМЕРЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 8585-7175

AuthorID: 1086300

ORCID: 0000-0001-7051-6182

ЖУРАВЛЕВ Александр Александрович, аспирант института радиоэлектроники
и информационных технологий - РтФ

Уральский Федеральный Университет им. Б. Н. Ельцина

(620078, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 32, e-mail: alexander.zhuravlev@urfu.ru)

Аннотация. Качество дорожного покрытия является одной из самых популярных проблем во всем мире, поскольку жизнь современного человека практически невозможно представить без транспорта. Для решения данной проблемы существует множество технологий. Однако, они работают на основе различных алгоритмов, к которым относятся методы выделения контуров. Каждый алгоритм обладает своими особенностями. Одной из важных характеристик таких методов является точность распознавания образов (классов) на изображении. Чтобы иметь приблизительное представление, на сколько точен конкретный алгоритм, необходимо провести сравнительный анализ. В качестве методов для исследования выбраны: Оператор Кэнни, Оператор Кирша, Алгоритм Марра-Хилдрета, Оператор Прюитта, Оператор Собеля. Для эксперимента используется всего 140 изображений (все фотографии разные, хранятся в соответствующих папках на жестком диске, размер каждой 200x100/20000 пикселей). Используется 4 категории изображений дорожного покрытия: без повреждений, с трещинами, с ямами, с колеями. На каждый вид выделено по 35 фотографий. Для каждой категории, в свою очередь, происходит разбиение на две группы: шаблонные (10 изображений, с ними проводится сопоставление) и тестовые (25 изображений). Более детально этапы проведения эксперимента описаны в разделе «Методология». В качестве сравнительной характеристики выбран показатель верных ответов для каждого из выбранных алгоритмов выделения контуров. Наилучшее значение имеет Оператор Кирша (46,2%), самое низкое – Оператор Прюитта (38,2%). Однако показатель среднего процента верных ответов для каждого из методов довольно небольшой – меньше 50%. Появляется следующий вопрос: «Можно ли разработать (или уже существует) такой метод, который обрабатывает изображение один раз и при этом имеет средний показатель точности, отличный от 50%». Ответ на него можно будет получен в ходе дальнейших исследований.

Ключевые слова: сравнение, эффективность, классификация, методы выделения контуров, изображения, дорожное покрытие.

COMPARISON OF THE CLASSIFICATION EFFICIENCY OF THE CONTOUR DETECTION METHODS ON THE EXAMPLE OF ROAD SURFACE IMAGES

© The Author(s) 2023

ZHURAVLEV Alexander Alexandrovich, postgraduate student of the Institute of Radioelectronics
and Information Technologies - RTF

Ural Federal University named after B. N. Yeltsin

(620078, Russia, Yekaterinburg, Mira St., 32, e-mail: alexander.zhuravlev@urfu.ru)

Abstract. The quality of the road surface is one of the most popular problems around the world, since the life of a modern person is almost impossible to image without transport. There are many technologies to solve this problem. However, it works on the basis of various algorithms, which include contour detection methods. Each algorithm has its own characteristics. One of the most important characteristics of these methods is the accuracy of pattern recognition (classes) in the image. To have an approximate idea of how accurate a particular algorithm is, it is necessary to conduct a comparative analysis. The following methods is chosen for the study: Canny Operator, Kirsch Operator, Marr-Hildreth algorithm, Prewitt Operator, Sobel Operator. A total of 140 images are used for the experiment (all photos are different, stored in the corresponding folders on the hard disk, each size is 200x100/20000 pixels). 4 categories of images of the road surface are used: without damage, with cracks, with potholes, with ruttings. 35 photos are allocated for each type. For each category, in turn, it is divided into two groups: template (10 images, comparison is carried out with it) and test (25 images). The stages of the experiment are described in more detail in the section "Methodology". As a comparative characteristic, the indicator of correct answers for each of the selected contour selection algorithms is selected. The Kirsch Operator has the best value (46.2%), and the Prewitt Operator has the lowest value (38.2%). However, the average percentage of correct answers for each of the methods is quite small – less than 50%. The following question appears: "Is it possible to develop (or already exists) a method that processes the image once and at the same time has an average accuracy rate other than 50%." The answer to it can be obtained during further research.

Keywords: comparison, efficiency, classification, contour detection methods, images, road surface.

Для цитирования: Журавлев А.А. Сравнение эффективности классификации методов выделения контуров на примере изображений дорожного покрытия / А.А. Журавлев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 23-28. – EDN: ALGWMA.

Введение. Качество дорожного покрытия является одной из самых популярных проблем во всем мире, поскольку жизнь современного человека практически невозможно представить без транспорта [1-3]. Для решения данной проблемы существует множество технологий. Однако, они работают на основе различных алгоритмов, к которым относятся методы выделения контуров [4-6]. Каждый алгоритм обладает своими особенностями [7, 8]. Одной из важных характеристик таких методов является точность распознавания образов (классов) на изображении [9-11]. Чтобы иметь приблизительное представление, на сколько точен конкретный алгоритм, необходимо провести сравнительный анализ [12-14].

Методология. Цель исследования – сравнить эффективность классификации существующих методов выделения контуров на примере различных изображений дорожного покрытия.

Материал исследования – фотографии дорог с повреждениями различного вида (трещинами, ямами, колеями) и без них (качественное покрытие).

В статье используется эмпирический метод исследования, поскольку основным источником результатов являются сравнение и эксперимент.

Научная новизна работы заключается в способе определения эффективности оценки классификации методов выделения контуров на изображении через эксперимент, который подробно описан ниже.

Задачи исследования:

1. Описать этапы проведения эксперимента.
2. Дать краткое описание существующих методов выделения контуров на изображении.
3. Провести сравнительный анализ эффективности классификации выбранных алгоритмов.
4. Сделать выводы из полученных результатов.

Для эксперимента используется 4 вида изображений дорожного покрытия:

- 1) без повреждений;
- 2) с трещинами;
- 3) с ямами;
- 4) с колеями.

Каждый из них представлен на рисунке 1.



1)



2)



3)



4)

Рисунок 1 – Виды изображений дорожного покрытия: 1 – без повреждений, 2 – с трещинами, 3 – с ямами, 4 – с колеями

Для эксперимента используется всего 140 изображений (все фотографии разные, хранятся в соответствующих папках на жестком диске (подробно представлено на рисунке 4), размер каждой 200x100/20000 пикселей). На каждый вид (без повреждений, с трещинами, с ямами, с колеями) выделено по 35 фотографий. При этом по 10 изображений используется для обработки выбранными методами выделения контуров и дальнейшего сопоставления. Будем называть такую группу шаблонными изображениями. 25 изображений

каждого вида применяется для тестирования. Тестовые фотографии также проходят процесс обработки. Далее обработанные тестовые изображения для конкретного метода выделения контуров (всего 100 фотографий: 25 * 4) сопоставляются с обработанными шаблонными изображениями тем же методов (всего 40 изображений: 10*4). Выбирается шаблонное изображение, которое максимально схоже с текущим тестовой фотографией. Если категория (без повреждений, с трещинами, с ямами, с колеями) первой группы совпадает с тестовым изображением,

то такой ответ будет считать верным. Всего будет проведено сопоставление для 500 различных тестовых фотографий (100 изображений для конкретного алгоритма). На выходе получаем процент верных ответов для каждого метода (Оператор Кэнни, Оператор Кирша, Алгоритм Марра-Хилдрета, Оператор Прюитта, Оператор Собеля). Краткое описание каждого алгоритма представлено далее.

Описанный способ проведения эксперимента обусловлен тем, что:

1. Позволяет провести эксперимент в домашних условиях (достаточно вычислительной машины, программного обеспечения и исходных изображений).

2. Имеет одинаковые результаты обработки всеми методами выделения контуров для конкретного изображения.

3. Обладает относительно небольшим затрачиваемым временем (не более 10 минут).

Блох-схема с подробным описанием этапов проведения эксперимента изображена на рисунке 2.

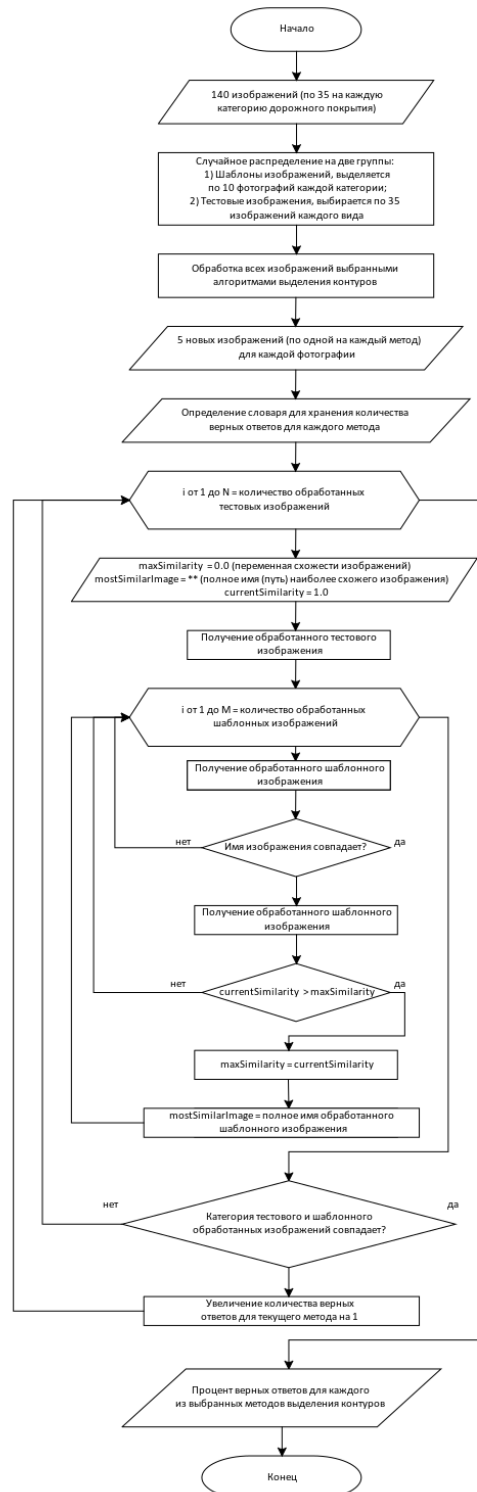


Рисунок 2 – Блок-схема этапов проведения эксперимента

Оператор Кэнни служит для обнаружения краев. Использует многоступенчатый алгоритм для обнаружения широкого спектра краев на изображениях. Для обработки используются две матрицы, имеющие следующий вид [15]:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Оператор Кириша используется для нахождения крайних точек с помощью 8 компас-направлений, представляющие 8 следующих матриц [16]:

$$N = \begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix} \quad NW = \begin{bmatrix} -3 & 5 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \quad SW = \begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix} \quad SE = \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix} \quad NE = \begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$

Алгоритм Марра-Хилдрета применяется для обнаружения краев в цифровых изображениях путем их свертки с помощью Лапласиана функции Гаусса, который имеет следующий вид [17]:

$$L = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Оператор Прюитта используется для выделения границ изображений путем вычисления максимального отклика на множестве ядер свертки для нахождения локальной ориентации границы в каждом пикселе. Для обработки применяются следующие матрицы [18]:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Оператор Собеля служит для выделения границ на изображениях. Для обработки используются точно такие же матрицы, как в методе Кэнни [19]:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Вышеперечисленные методы выбраны в связи с тем, что их можно реализовать самостоятельно, поскольку алгоритмы их работы находятся в открытом доступе. Также одной из причин является популярность выбранных методов выделения контуров на изображениях.

Результаты. В качестве среды для проведения описанного эксперимента выбрана *Visual Studio 2022*. Используется язык программирования *C#*. Для сопоставления обработанных изображений конкретным методом используются методы библиотеки *Emgu.CV* [20].

Пример обработанных фотографий каждым из выбранных методов для всех видов дорожного покрытия представлен на рисунке 3.

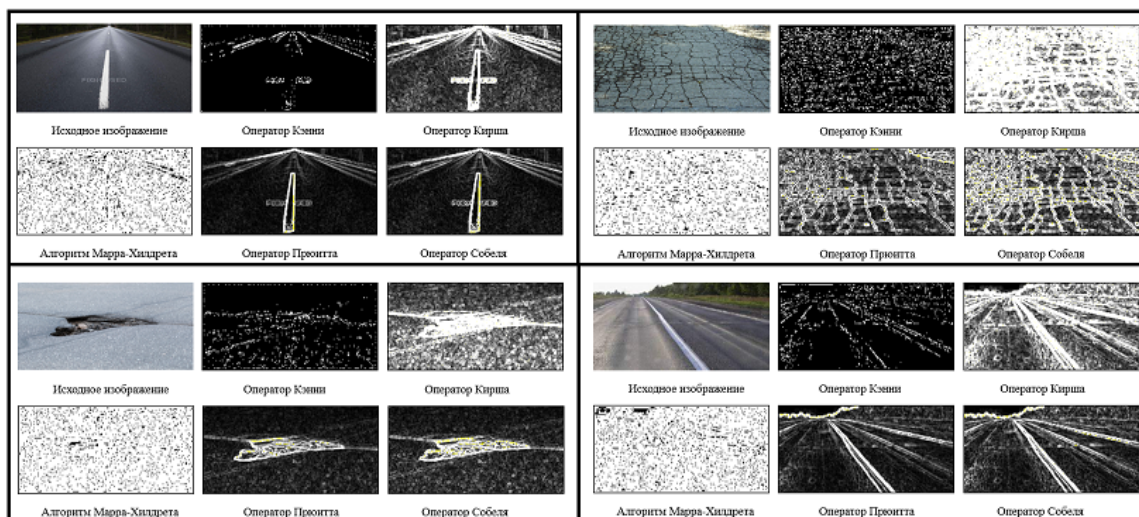


Рисунок 3 – Пример обработанных изображений выбранными методами выделения контуров

Дерево расположения всех изображений до и после обработки методами выделения контуров на жестком диске компьютера представлено на рисунке 4.

Папка *Images* (изображения) – корневая. Она содержит два каталога: *Templates* и *Tests* (шаблонные и тестовые изображения соответственно). Каждая из папок включает четыре каталога, соответствующих категории дорожного покрытия (*Roads* – (дороги) без повреждений, *Cracks* – с трещинами, *Potholes* – с ямами, *Ruttings* – с колеями). Каждая категориальная

папка состоит из 10 и 25 подпапок, содержащих изначально только исходные шаблонные и тестовые изображения соответственно. После обработки дополнительно добавляется 5 новых обработанных изображений (каждым алгоритмом выделения контуров) в каждую папку.

Для более точных результатов эксперимент, описанный ранее проведен 5 раз. В ходе серии экспериментов получены результаты, которые представлены в таблице 1.

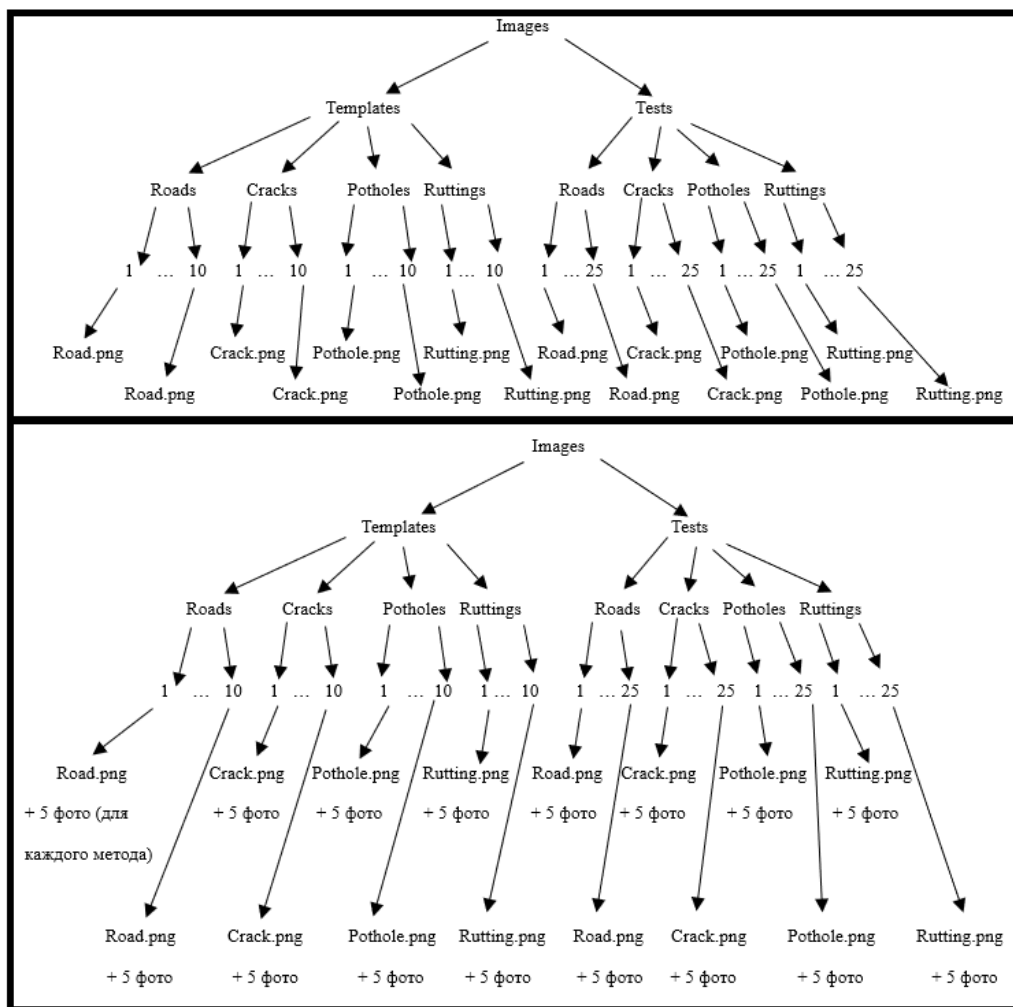


Рисунок 4 – Дерево расположения изображений на жестком диске компьютера до и после обработки

Таблица 1 – Процент верных ответов для каждого из выбранных методов

Название метода	Оператор Кэнни	Оператор Кирша	Алгоритм Марра-Хилдрета	Оператор Прюитта	Оператор Собеля
Номер эксперимента					
1	41	44	36	32	35
2	52	46	40	40	40
3	45	46	41	39	42
4	44	42	38	38	39
5	47	53	44	42	44
Среднее значение	45,8	46,2	39,8	38,2	40,0

Обсуждение. Как видно из таблицы, наилучший показатель верных ответов имеет Оператор Кирша (46,2%) самый низкий – Оператор Прюитта (38,2%). Качественная оценка, которая заключается в вычислении отношений полученных результатов,

представлена в таблице 2 (происходит деление среднего значения процента верных ответов для метода по вертикали на соответствующий показатель алгоритма по горизонтали). Результаты округлены до 3 знаков после запятой.

Таблица 2 – Отношения средних значений процентов верных ответов для выбранных методов

Название метода	Оператор Кэнни	Оператор Кирша	Алгоритм Марра-Хилдрета	Оператор Прюитта	Оператор Собеля
Оператор Кэнни	1	0,991	1,151	1,199	1,145
Оператор Кирша	1,009	1	1,161	1,210	1,155
Алгоритм Марра-Хилдрета	0,869	0,861	1	1,042	0,995
Оператор Прюитта	0,834	0,827	0,956	1	0,955
Оператор Собеля	0,873	0,866	1,005	1,047	1

Однако показатель среднего процента верных ответов для каждого из методов довольно небольшой – меньше 50%. Для решения этой проблемы уже существуют многослойные нейронные сети, которые обрабатывают изображения алгоритмами по несколько раз, что повышает точность ответов. Появляется следующий вопрос: «Можно ли разработать (или уже существует) такой метод, который обрабатывает изображение один раз и при этом имеет средний показатель точности, больший 50%». Ответ на него будет получен в ходе дальнейших исследований.

Полученные в ходе эксперимента результаты можно также применять на практике. Например, при выборе алгоритма работы оборудования для распознавания повреждений на дорожном покрытии.

Выводы. В данной статье проведен сравнительный анализ эффективности существующих методов выделения контуров на изображении, среди которых: Оператор Кэнни, Оператор Кирша, Алгоритм Марра-Хилдрета, Оператор Прюитта, Оператор Собеля. Проведена серия экспериментов по принципу, подробно описанному в разделе «Методология». Наилучший показатель верных ответов имеет Оператор Кирша (46,2%) самый низкий – Оператор Прюитта (38,2%). Средний показатель точности методов довольно невысокий – меньше 50%. Ответ на вопрос «Можно ли разработать (или уже существует) такой метод, который обрабатывает изображение один раз и при этом имеет средний показатель точности, больший 50%» будет получен в ходе дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Труды ИСА РАН: Математические модели социально-экономических процессов. Динамические системы. Управление рисками и безопасностью. Оптимизация, идентификация, теория игр. Обработка и анализ изображений и сигналов. Интеллектуальный анализ данных и распознавание / Под ред. С.В. Емельянова. – М.: Красанд, 2013. – 128 с.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес. – М.: Техносфера, 2012. – 1101 с.
3. Ерош, И.Л. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: Учебное пособие / И.Л. Ерош, М.Б. Сергеев, Н.В. Соловьев. – СПб.: ГОУ ВПО СПбГУАП, 2012. – 154 с.
4. Кравченко, В.Ф. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях / В.Ф. Кравченко. – М.: Физматлит, 2007. – 544 с.
5. Красильников, Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: Учебное пособие. / Н.Н. Красильников. – СПб.: BHV, 2011. – 608 с.
6. Красильников, Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: Учебное пособие / Н.Н. Красильников. – СПб.: BHV, 2011. – 608 с.
7. Селянкин, В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений: Учебное пособие / В.В. Селянкин. – СПб.: Лань, 2019. – 152 с.
8. Визильтер, Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю.В. Визильтер и др. – М.: ФИЗМАТКН, 2010. – 672 с.
9. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
10. Костяшкин, Л.Н. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения / Л.Н. Костяшкин, М.Б. Никифоров. – М.: Физматлит, 2016. – 240 с.
11. Кравченко, В.Ф. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях / В.Ф. Кравченко и др. – М.: Физматлит, 2007. – 544 с.

12. Красильников, Н.Н. Цифровая обработка изображений / Н.Н. Красильников. – М.: Вузовская книга, 2001. – 320 с.
13. Прохоренок, Н.А. OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение / Н.А. Прохоренок. – СПб.: BHV, 2018. – 320 с.
14. Яне, Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
15. Kirsch Compass Mask [В интернете] // URL: https://www.tutorialspoint.com/dip/kirsch_compass_mask.htm
16. Canny Edge Detector [В интернете] // URL: <https://justin-liang.com/tutorials/canny/>
17. Laplacian & Marr Hildreth Edge Detection [В интернете] // URL: https://www.southampton.ac.uk/~msn/book/new_demo/laplacian/
18. Prewitt Operator [В интернете] // URL: https://www.tutorialspoint.com/dip/prewitt_operator.htm
19. Sobel Operator [В интернете] // URL: https://www.tutorialspoint.com/dip/sobel_operator.htm
20. EMGU CV Tutorial [В интернете] // URL: <http://bias.csr.unibo.it/vr/Esercitazioni/Tracce/Emgu%20CV%20Tutorial%20Skander.pdf>

Статья поступила в редакцию 14.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 004.31

EDN: AMTPDV

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА

© Автор(ы) 2023

SPIN: 4306-1263

AuthorID: 651273

ORCID: 0000-0003-3827-5395

ScopusID: 57215612390

КУРАЕВА Елена Анатольевна, старший преподаватель кафедры «Программирование»

Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 5578-1080

AuthorID: 368829

ORCID: 0000-0002-0041-1542

ЛИТВИНСКАЯ Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры «Информационно-вычислительные системы»

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

(440028, Россия, Пенза, улица Германа Титова, 28, e-mail: oslit@yandex.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются варианты организации удаленного терминального доступа к серверу ВЦ университета. Основное назначение удаленного доступа заключается в организации учебного процесса по дисциплинам «Базы данных», «Программно-аппаратные средства для хранения и обработки данных». Цель научно-исследовательской работы – выбор технологии виртуализации рабочих столов и её применение для проектирования лабораторного стенда. Альтернативной является технология виртуальных рабочих столов, которая широко используется для создания удаленных рабочих мест с заданным набором программ и приложений. При этом все данные хранятся не на компьютере, с которого работает пользователь, а на защищенном удаленном сервере. Подобная организация учебного процесса позволит в полной мере изучить курсы согласно учебному плану с применением практических ресурсов в виде стенда. В исследовательской части представлены альтернативные варианты реализации лабораторного стенда. В качестве средств организации удаленного доступа рассмотрены следующие технологии: *RDS (Remote Desktop Services)*, *VDI (Virtual Desktop Infrastructure)*. Описан выбор параметров программных средств. В работе, согласно техническому заданию, лабораторный стенд обеспечивает возможность создания и управления БД *MS SQL Server 2019* с помощью среды администрирования *MS SQL Server Management Studio (SSMS)* и клиентского приложения *C++ Builder Community Edition*. Минимальное количество удаленных рабочих мест – 25. Сделан вывод об использовании сервиса *RDS*.

Ключевые слова: удаленный рабочий стол, виртуальная машина, терминальный сервер, технологии виртуализации, частное облако, образование.

CHOICE OF VIRTUALIZATION TECHNOLOGY FOR THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

© The Author(s) 2023

KURAEVA Elena Anatolyevna, senior lecturer of the Department of «Programming»

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukova Passage/Gagarina Street, 1a/11, e-mail: e_artyushina@inbox.ru)

LITVINSKAYA Olga Sergeevna, candidate of technical sciences, associate professor,

associate professor of the Department of «Information and Computing Systems»

Penza State University of Architecture and Construction

(440028, Russia, Penza, German Titov Street, 28, e-mail: oslit@yandex.ru)

Abstract. The article discusses options for organizing remote terminal access to the University's VC server. The main purpose of remote access is to organize the educational process in the disciplines "Databases", "Software and hardware for data storage and processing". The purpose of the research work is the choice of desktop virtualization technology and its application for the design of a laboratory stand. Alternative technology is virtual desktops, which are widely used to create remote workstations with a given set of programs and applications. At the same time, all data is stored not on the computer from which the user works, but on a secure remote server. Such an organization of the educational process will allow you to fully study the courses according to the curriculum with the use of practical resources in the form of a stand. The research part presents alternative options for the implementation of the laboratory stand. The following technologies are considered as means of organizing remote access: *RDS (Remote Desktop Services)*, *VDI (Virtual Desktop Infrastructure)*. The choice of software parameters is described. In the work, according to the terms of reference, the laboratory stand provides the ability to create and manage *MS SQL Server 2019* databases using the *MS SQL Server Management Studio (SSMS)* administration environment and the *C++ Builder Community Edition* client application. The minimum number of remote jobs is 25. The conclusion is made about the use of the *RDS* service.

Keywords: remote desktop, virtual machine, terminal server, virtualization technologies, private cloud, education.

Для цитирования: Кураева Е.А. Выбор технологии виртуализации для учебного процесса ВУЗа / Е.А. Кураева, О.С. Литвинская // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 29-35. – EDN: AMTPDV.

Введение. Традиционный подход к использованию ИТ-сервисов в организации подразумевает их размещение на высоконадежных и защищенных серверах ВЦ и доступ к ним с ПК пользователей. Зачастую именно пользовательский ПК оказывается слабым звеном коммуникационной сети. Это привело к использованию терминальных служб, позволяющих централизовать рабочее окружение пользователя и предоставлять доступ к нему с помощью терминального клиента из корпоративной сети, либо через интернет. На сегодняшний день виртуальные рабочие столы используются для создания удаленных рабочих мест с заданным набором программ и приложений. При этом все данные хранятся не на компьютере, с которого работает пользователь, а на защищенном удаленном сервере. Развитием терминальных служб в настоящее время являются технологии: *RDS (Remote Desktop Services)*, *VDI (Virtual Desktop Infrastructure)*, *Daas (Desktop as a Service)*, *VPN (Virtual Private Network)* и другие. В частности, некоторые такие технологии применяются в усовершенствовании материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса в университете.

Вопросам выбора технологии виртуализации посвящены научные исследования Волкова М. [1], Жбанкова А., Прялухина Г., Парфенова Е. [2], Исагулова С.Т., Коккоз М.М., Макишевой А.Ж. [3], Adeliyi T. [12]. Частный вопрос выбора технологии виртуализации для организации учебного процесса ВУЗа рассматривался во многих работах, в том числе – в статьях Е.А. Артюшиной [4, 5], А.А. Воронцова [6], А.Ю. Семина [7], Д.А. Одинокова [8, 9] и О.С. Литвинской, Е.А. Артюшиной [10].

Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались отдельные аспекты выбора технологий виртуализации, показал, что вопрос реализации удаленных рабочих столов для организации учебного процесса актуален и зависит от технических ресурсов конкретного ВУЗа [1, 2, 10, 11, 13, 15, 16].

Методология. Целью настоящего исследования является сравнение технологий виртуализации рабочих мест для организации удаленных рабочих столов, обеспечивающих практическую подготовку студентов университета по учебным дисциплинам «Базы данных» и «Программно-аппаратные средства для хранения и обработки данных».

Для исследования были приняты во внимание следующие технологии:

- *VDI (Virtual Desktop Infrastructure)* – инфраструктура виртуальных рабочих мест;
- *RDS (Remote Desktop Services)* – службы удаленного рабочего стола.

Технология *Daas* используется при наличии облака. Облачные решения, такие как файловый сервер, *NextCloud*, *Open Cloud* в вузе не реализованы, следовательно, эту технологию использовать нельзя [12-15, 18]. Технология *VPN* также не рассматривается, поскольку каждый сервер облака виртуализации имеет привязку к конкретному рабочему месту компьютерного класса, что также недопустимо в учебном процессе. Организация удаленного рабочего места требует наличия ряда программных средств. В ходе курсового проектирования для разработки *backend* или серверной части информационной системы (ИС) студентам необходимо следующее программное обеспечение (ПО):

- реляционная СУБД *MS SQL Server Express Edition 2017* и выше;
- среда администрирования *MS SQL Server Management Studio Express Edition 2017* и выше.

Для разработки *frontend* или клиентской части ИС необходимо следующее ПО:

- *RAD Studio* (или отдельно – *C++ Builder Community Edition*) – *Embarcadero 2017* и выше.

При создании учебно-лабораторного стенда нужно учитывать количество одновременно обучающихся по указанным дисциплинам (≈ 50 чел.) и минимально необходимое количество рабочих мест (25 шт.). В учебном классе стоят компьютеры с параметрами:

- 3-х ядерный 32-х битный процессор *Intel 3,9 ГГц*;
- оперативная память - доступно 2 Гб;
- 4x *USB 2.0* с избирательным ограничением доступа, запрет подключения носителей информации;
- *HDMI HD 1080*, разрешение 1920x1080 пкс;
- для подключения к терминальному серверу рекомендуется использовать порт *Ethernet*;
- совместим с серверной операционной системой *Windows Server*.

Тип операционной системы – 32-х разрядная.

Для реализации первоначального варианта учебно-лабораторного стенда применялась технология инфраструктуры виртуальных рабочих столов *VDI*. Она позволяла перенести рабочие места пользователей на выделенный сервер, на котором, эффективно используя его вычислительные ресурсы и дисковую систему хранения (СХД), функционировали виртуальные машины (ВМ) с клиентскими операционными системами (рис.1).

В развернутой инфраструктуре *VDI* каждый пользователь работал на отдельной виртуальной машине, запущенной на удаленном сервере [11]. Управление ВМ занимался гипервизор. Для размещения образов ВМ требовалась система хранения с фиксированным объемом.

Администратор сервиса управлял им, выделяя

базовый образ ВМ с функциональными возможностями для разных пользователей. Для подключения конечных пользователей необходимы были сетевые ресурсы в виде коммуникационных устройств и шифрованных каналов связи. С этой целью использовались протоколы *Transport Layer Security (TLS)* и *Secure Sockets Layer (SSL)*.

Особенности реализации и функционирования учебно-лабораторного стенда на основе технологии *VDI*, его достоинства и недостатки достаточно подробно описаны ранее в источниках [4, 5]. Список базового и инструментального ПО и аппаратные характеристики экземпляра виртуальной машины приведены ниже в таблицах 1 и 2.

Доступ к «частному» облаку ПензГТУ был организован через программный пакет для администрирования облачных услуг *MS Windows Center*

2012 *R2* и универсальный портал самообслуживания *App Controller*.

Выделенный сервер поддерживал работу минимально необходимого для организации учебного процесса количества экземпляров *MS SQL Server* (=25 копий).

Анализ изменения быстродействия компьютеров в сети при работе с виртуальными машинами частного облака ПензГТУ выявил их существенные недостатки, отмеченные в источнике [6]. Главные из них – это сложности в развертывании инфраструктуры виртуальных рабочих столов и достаточно высокая требовательность стенда к основным вычислительным ресурсам сервера. Кроме того, остро нуждалось в обновлении базовое и инструментальное ПО виртуальных машин. Поэтому было принято решение о модернизации стенда.

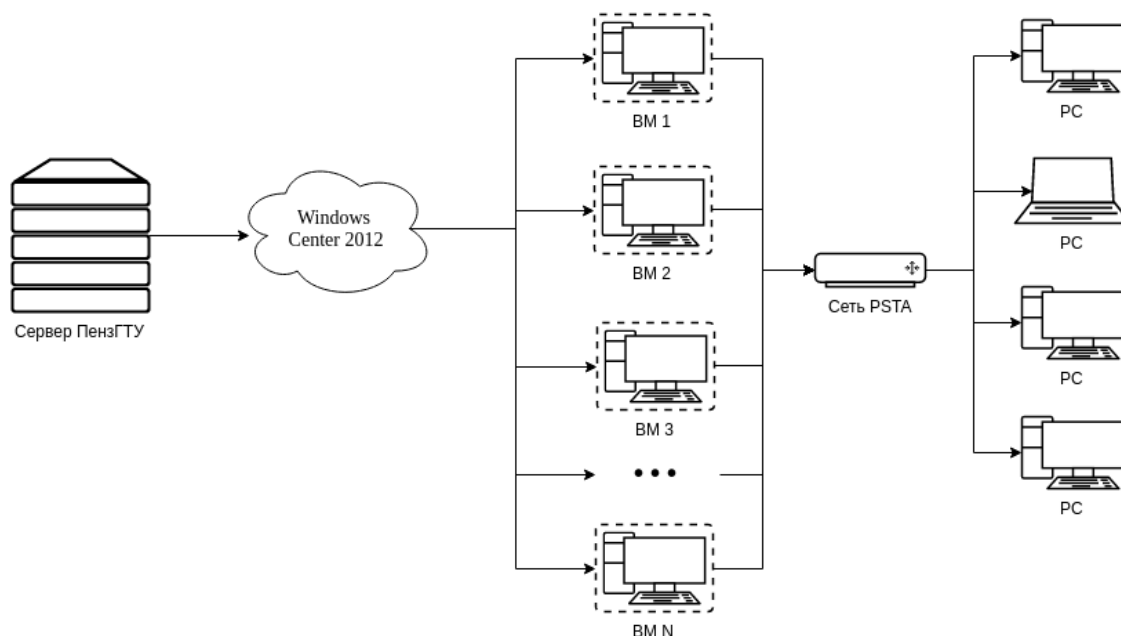


Рисунок 1 – Виртуальные машины *SQL Server* в частном облаке ПензГТУ

Таблица 1. Базовое/инструментальное ПО экземпляра виртуальной машины *SQL Server*

№	Название ПО	Вид ПО
1	MS Windows XP Professional	Операционная система (ОС)
2	MS SQL Server 2008(R2) Express Edition	Система управления БД (СУБД)
3	MS SQL Server Management Studio 2008 (R2) Express Edition	Среда администрирования БД
4	RAD Lazarus for Windows (32/64 бит) (v 1.2.4)	Интегрированная среда разработки ПО (IDE)

Таблица 2 – Аппаратная конфигурация экземпляра виртуальной машины *SQL Server*

№	Название аппаратной характеристики	Значение
1	Процессоры (CPU)	2 (Intel Xeon E5-2620 2,00 ГГц)
2	ОЗУ (RAM)	512 Мб
3	ПЗУ (Total disk space)	20 Тб

В процессе усовершенствования были выделены альтернативные варианты реализации лабораторного стенда с обновленным набором ПО. Первый вариант предполагал, что на виртуальной машине с гостевой операционной системой *Windows Server 2019 Standard* будет развернута реляционная СУБД *MS SQL Server* и установлено в существующие учебные АРМ под управлением ОС *Windows 10* клиентское

ПО *MS SQL Server Management Studio* и *C++ Builder Community Edition*. Согласно статье Литвинской О.С., Артюшиной Е.А.: "Это предложение – наилучший вариант по аппаратным затратам, но клиентское ПО 64-разрядное, в то время как ОС учебных АРМ 32-разрядные. Этот вариант не подходит" [10].

Второй вариант предполагал, что на виртуальных машинах гостевой операционной системой будет *Win-*

dows 10, и в качестве приложения будет развернута СУБД MS SQL Server. Подобный архитектурно-структурный вариант стенда и был реализован ранее посредством технологии VDI. В процессе тестирования были выявлены такие его достоинства как автономная среда обучения для каждого студента, возможность для сохранения персональных настроек рабочего стола, а также быстрого восстановления конкретной виртуальной машины после сбоя. В качестве недостатка были отмечены чрезмерные затраты аппаратных средств, которые негативно сказались на функционировании виртуальных машин по другим учебным дисциплинам. Так, для 64-разрядных виртуальных машин в количестве 25 шт. потребовалось бы как минимум 50 (25x2) виртуальных процессоров и 100 ГБ (25x4) оперативной памяти. Данный вариант также оказался неприемлем.

Третий возможный способ решения задачи состоит в развертывании СУБД и установке клиентского ПО на базе серверной ОС Windows Server 2019 Standard на одной виртуальной машине, публикации удаленных приложений и настройке последующего доступа к ним с помощью интерфейса RDWeb.

Такое решение независимо от количества одновременных подключений относительно нетребовательно к используемым вычислительным ресурсам (минимально нужны 8 виртуальных процессоров и

8 Гб + 100 Мб оперативной памяти на каждое подключение). Однако при выборе данного варианта предстоит выполнить сложную настройку системы безопасности для поддержки совместной работы в СУБД [10].

Для усовершенствования учебно-лабораторного стенда был выбран 3-ий вариант решения, как наиболее подходящий.

Таким образом, текущий вариант реализации учебно-лабораторного стенда использует вместо VDI технологию удаленного терминального доступа. Служба RDS обеспечивает удаленное обслуживание нескольких клиентских систем, которые подключаются к сети по протоколу RDP (Remote Desktop Protocol), управляющему обменом данных с серверным программным обеспечением, в данном случае – это СУБД, работающим на базе операционной системы MS Windows Server [19]. При таком подключении пользователи работают совместно на одном (терминальном) сервере [1, 17].

Терминальный сервер позволяет централизовать размещение приложений и данных организации вне зависимости от расположения и платформы устройств конечных пользователей, предоставляя доступ к ним через «тонкие клиенты» – терминальные клиентские устройства, как это показано на рисунке 2.

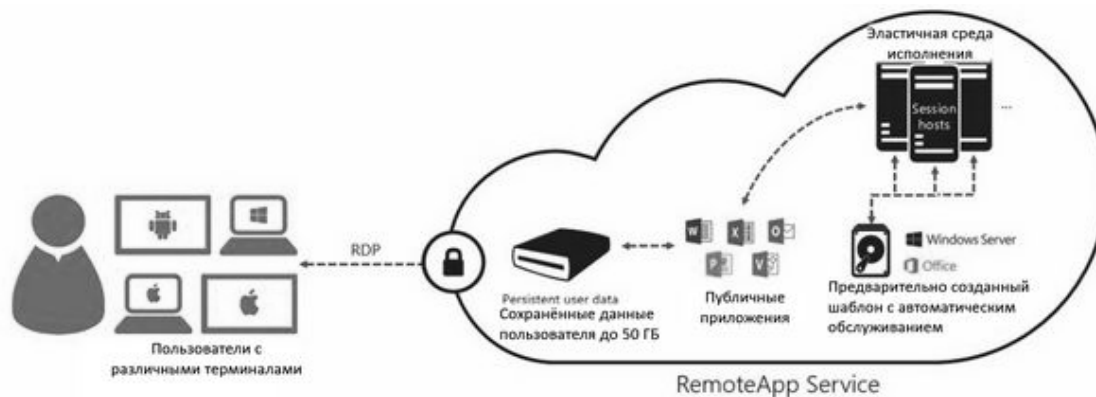


Рисунок 2 – Службы удалённого рабочего стола RDS

Результаты. Разработанный сервис удаленных приложений RemoteApp Service расположен по адресу <https://sql2019.psta.ru/RDWeb/> и включает три основных компонента:

- сохраненные данные (базы данных) конечных пользователей;
- опубликованные приложения, отдельно – для создания backend- и frontend-частей ИС в рамках

курсового проектирования по изучаемым учебным дисциплинам;

- среду исполнения с установленными серверной ОС и реляционной СУБД.

Общий список ПО сервиса удаленных приложений представлен ниже в таблице 3, аппаратная конфигурация терминального сервера представлена в таблице 4.

Таблица 3 – Базовое/опубликованное ПО терминального сервера SQL2019

№	Название ПО	Вид ПО
1	MS Windows Server 2019 Standard	Серверная операционная система (ОС)
2	MS SQL Server 2019 Express Edition	Система управления БД (СУБД)
3	MS SQL Server Management Studio 2019 Express Edition (версия 18.10)	Среда администрирования БД – первое опубликованное RemoteApp
4	Embarcadero RAD Studio C++ Builder Community Edition (версия 10.4)	Интегрированная среда разработки ПО – второе опубликованное RemoteApp

Таблица 4 – Аппаратная конфигурация терминального сервера SQL2019

№	Название характеристики	Значение
1	Процессоры (CPU)	4 (Genuine Intel(R) CPU 0000 2,10 ГГц)
2	ОЗУ (RAM)	16 Гб
3	ПЗУ (выделенная память)	176,4 Гб

Обсуждение. При сравнении полученных результатов модернизации стенда с результатами в других экспериментах, описанных в источниках [4-6], необходимо учесть изначальное различие рассматриваемых технологий. Между выделенными технологиями *RDS* и *VDI* существует ряд кардинальных отличий, а именно:

- внешний вид рабочего стола при использовании технологии *RDS* представляется одинаковым для всех пользователей, поскольку идет обращение с единого удалённого сервера; при использовании технологии *VDI* внешний вид рабочего стола можно настроить под индивидуальные потребности каждого пользователя;

- изолированность пользователей. При использовании технологии *RDS* пользователи, выполняя свои задачи, имеют на терминальном сервере свои учётные записи, что обеспечивает их совместную работу в единой ОС. У каждого пользователя устанавливается специальное приложение, позволяющее работать с отдельными сессиями на сервере. Виртуальные

машины пользователей полностью изолированы на уровне сессии. Если одно из приложений вызывает сбой на уровне хостовской операционной системы, то вместе с пользователем, вызвавшим сбой, перезагрузятся и все остальные пользователи. При использовании технологии *RDS* все пользователи имеют доступ к одной и той же операционной системе и программному обеспечению во время сеансов рабочего стола, настройки рабочего стола и устройства ограничены.

Таким образом, модернизированный учебно-лабораторный стенд в "рабочей конфигурации с 16 Гб выделенной оперативной памяти СУБД использует порядка 1.8 Гб ОП, при этом SSMS 18÷67.9 Мб на каждого пользователя. В минимальной же конфигурации (с выделенными 4096 Мб ОП) СУБД использует ≈280 Мб ОП, при этом среда администрирования SSMS использует всего лишь 18÷25.5 Мб на каждого пользователя" [10].

Данные с рисунка 3 подтверждают полученные результаты.

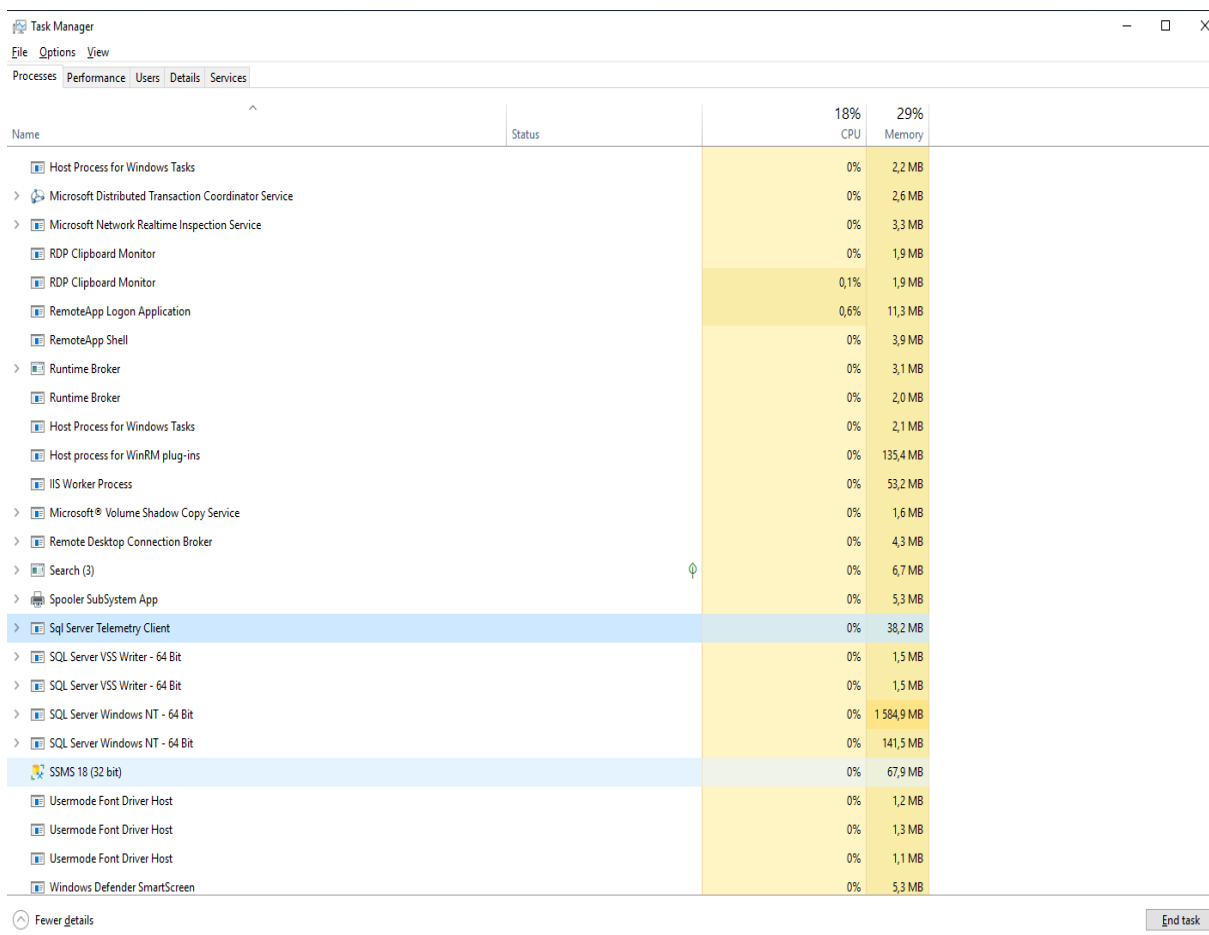


Рисунок 3 – Анализ активных процессов в Диспетчере задач серверной ОС

"Обучающиеся имеют доступ только к собственным базам, могут их создавать и управлять ими как в среде администрирования, так и с помощью клиентских приложений *C++ Builder*. Пользователь с правами администратора, т.е. ведущий преподаватель, имеет полный доступ ко всем базам" [10] как это следует из рисунка 4.

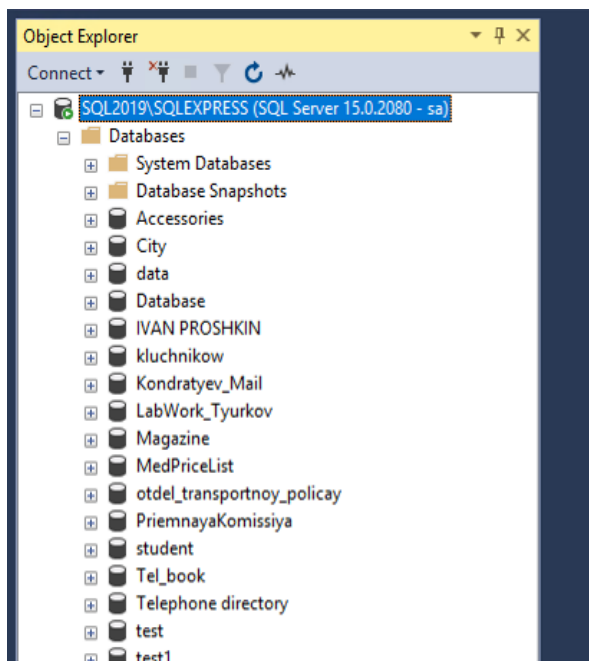


Рисунок 4 – Список тестовых баз пользователей в окне SSMS (режим администратора)

Также к преимуществам текущего варианта реализации лабораторного стенда с использованием технологии терминального доступа *RDS* отнесем:

– существенную экономию аппаратных ресурсов ВЦ ПензГТУ по сравнению со стендом, построенным ранее на основе технологии *VDI*;

– новые версии базового и инструментального ПО для организации учебного процесса по дисциплинам «Базы данных» и «Программно-аппаратные средства хранения и обработки данных»;

– открытый внешний доступ к опубликованным удаленным приложениям терминального сервера.

Недостаток, выявленный в процессе тестирования лабораторного стенда, построенного на основе технологии *RDS* – это сбой в параллельной работе 2-х опубликованных приложений терминального сервера *SQL Server Management Studio* и *C++ Builder*.

Выводы. Рассмотренные технологии виртуализации рабочих столов резервируют необходимый минимум ресурсов для выполнения задач. Далее, возможно наращивание мощностей виртуальных машин при физической возможности. Практика применения показала, что технологию *VDI* можно использовать на крупных предприятиях при наличии мощных физических ресурсов. При этом каждый пользователь будет работать с индивидуально настроенным рабочим столом и привычной операционной системой *Windows 10*. Технология *RDS* показала

себя пригодной при ограниченных физических ресурсах, т.е. она намного экономичнее и проще в использовании.

"На основе вышеизложенного материала можно сделать вывод, что настройки учебно-лабораторного стенда оказались вполне приемлемыми с точки зрения используемых программно-аппаратных ресурсов ВУЗа. В настоящее время стенд находится в стадии рабочего тестирования. По результатам тестирования стенда в многопользовательском режиме могут быть внесены корректировки требуемого оборудования и средств защиты" [10].

В качестве перспективы развития данной задачи отметим возможность перехода на отечественные операционные системы с применением протокола *VNC (Virtual Network Computing)*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волков М. VDI или терминальный сервер: как правильно выбирать решение? // IT Expert. – 2020. – № 11. – С. 33-35.
2. Жбанков А., Прялухин Г., Парфенов Е. Общая теория и археология виртуализации x86 // Сообщество IT-специалистов ХАБР. URL: <https://habr.com/ru/post/474776/> (дата обращения: 31.01.2023)
3. Исагулов С.Т., Коккоз М.М., Макишева А.Ж. Исследование проблем внедрения технологии виртуализации // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 2-3. – С. 357-361.
4. Артюшина Е.А., Жулев С.А., Ведюшкина А.Е. Проблемы использования облачных технологий при изучении MS SQL Server // Современные наукоемкие технологии. М.: Академия естествознания, 2015. – № 3 (Ч.2). – С. 271.
5. Артюшина Е.А., Маркин Е.И., Рябова К.М. Использование облачных технологий при изучении СУБД MS SQL Server // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов. Пенза: ПДЗ, 2016. – С. 89-94.
6. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия компьютеров в сети при работе с виртуальными машинами частного облака ПензГТУ // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов. Пенза: ПДЗ, 2016. – С. 84-88.
7. Семин А.Ю., Артюшина Е.А. Алгоритмы функционирования клиент-серверной программы удаленного управления ЭВМ // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов. Пенза: ПДЗ, 2018. – С. 115-120.
8. Одинокоев Д.А., Артюшина Е.А. Особенности хранения изображений в реляционных СУБД // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – №4. (Ч.8). – С. 1240-1243.
9. Одинокоев Д.А., Артюшина Е.А. Специфика хранения изображений в реляционных СУБД // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов. Пенза: ПДЗ, 2019. – С. 69-72.
10. Литвинская О.С., Артюшина Е.А. Использование удаленных рабочих столов в учебном процессе // Информационно-вычислительные технологии и их приложения. Пенза: ПГАУ, 2022. – С. 135-138.
11. David Pitts, Riabov Vladimir. The Use Of Virtual Desktop Infrastructures In A Graduate Computer Science Curriculum // ResearchGate. – 2019. URL: <https://www.researchgate.net/publication/332822959> (дата обращения 12.11.2022)
12. Adeliyi T. Optimizing Remote Access Using Mobile Cloud Virtual Desktop Infrastructure // ResearchGate. – 2021. URL: <https://www.researchgate.net/publication/350757777> (дата обращения 23.11.2022)
13. Ameet Yadav A. Security And Performance Enhancement Of Cloud Based Education System // International Peer Reviewed & Refereed Journal, Open Access Journal. – 2019. URL: <https://www.researchgate.net/publication/352993139> (дата обращения 23.11.2022)

14. Arun Sabale, Balu N P Irag Microsoft Azure Virtual Desktop Guide: Configuring and Operating Microsoft Azure Virtual Desktop (Exam AZ-140). – 2021. URL: <https://www.researchgate.net/publication/359314325> (дата обращения 25.11.2022).

15. Nian Xiong, Shan Zhou, Zujian Wu, Zhen Zhang Design and research of hybrid cloud desktop scheme in colleges and universities. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/349314868_Design_and_research_of_hybrid_cloud_desktop_scheme_in_colleges_and_universities (дата обращения 14.01.2023).

16. Marek Nahotko, Jagiellonian University, Magdalena Zych, Jagiellonian University, Aneta Januszko-Szakiel, Małgorzata Jaskowska Big data-driven investigation into the maturity of library research data services (RDS). 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/365853327_Big_data-driven_investigation_into_the_maturity_of_library_research_data_services_RDS (дата обращения 14.02.2023).

17. Jure Jereb Remote desktop and applications: Implementation in the organization. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/41664304_Remote_desktop_and_applications_Implementation_in_the_organization (дата обращения 14.02.2023).

18. Eduardo Magaña, Iris Sesma, Daniel Morató, Mikel Izal Remote access protocols for Desktop-as-a-Service solutions. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/330155400_Remote_access_protocols_for_Desktop-as-a-Service_solutions (дата обращения 14.01.2023).

19. Marcin Lubonski, Andrew Simmonds An Adaptation Architecture to Improve User Perceived QoS of Multimedia Services for Enterprise Remote Desktop Protocols. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/250227182_An_Adaptation_Architecture_to_Improve_User_Perceived_QoS_of_Multimedia_Services_for_Enterprise_Remote_Desktop_Protocols (дата обращения 14.01.2023).

Статья поступила в редакцию 12.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 004, 303.722.4

EDN: BGCHUQ

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АГРОСТРАХОВАНИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УРОЖАЙНОСТИ

© Авторы 2022

SPIN: 5084-0967

AuthorID: 712397

ORCID: 0000-0002-3855-1970

КИНДАЕВ Александр Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий сектором научной аттестации

Пензенский государственный технологический университет

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

SPIN: 9270-3388

AuthorID: 167044

ORCID: 0000-0001-9534-2465

МОИСЕЕВ Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Математика и физика»

Пензенский государственный технологический университет

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

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с обработкой информации при разбиении объектов на группы для принятия решений в страховании. Исследование проводилось на основе данных об урожайности пяти основных сельскохозяйственных культур: пшеница озимая, пшеница яровая, ячмень яровой, рожь озимая и овёс за 26 лет в разрезе муниципальных образований Пензенской, Ульяновской, Самарской и Саратовских областей. Выделение объектов проводилось на основе кластерного анализа, методом k -средних. Рассмотрены полученные кластеры, проведен анализ результатов, как по отдельным культурам, так и в совокупном виде. На основе бальной системы были выделены три кластера, для которых предложены направления по принятию тех или иных решений с позиций сельскохозяйственных производителей. Были рассмотрены направления развития системы агрострахования с позиций страховых компаний с учетом полученных данных. Практическая значимость полученных в ходе исследований результатов заключается в формировании нового подхода к обработке информации применительно к сельскохозяйственному страхованию с применением информационных технологий. В заключении сформулированы основные выводы по проведенному исследованию и определены направления работы на ближайшую перспективу, с учетом полученных результатов.

Ключевые слова: информационное обеспечение, страхование, сельское хозяйство, страховые компании, кластерный анализ, выделение объектов, поддержка принятия решений, управление рисками.

DECISION SUPPORT IN AGRICULTURAL INSURANCE BASED ON YIELD ANALYSIS

© The Authors 2022

KINDAEV Alexander Yuryevich, candidate of technical sciences, head of the Scientific Attestation Sector

MOISEEV Alexander Vladimirovich, candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent,

head of sub-department «Mathematics and Physics»

Penza state technological University

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

Abstract. The article deals with issues related to the processing of information when dividing objects into groups for decision-making in insurance. The study was conducted on the basis of yield data for five main agricultural crops: winter wheat, spring wheat, spring barley, winter rye and oats for 26 years in the context of the municipalities of the Penza, Ulyanovsk, Samara and Saratov regions. The selection of objects was carried out on the basis of cluster analysis, using the k -means method. The resulting clusters are considered, the analysis of the results is carried out, both for individual crops and in aggregate form. Based on the scoring system, three clusters were identified, for which directions were proposed for making certain decisions from the standpoint of agricultural producers. The directions of development of the agricultural insurance system were considered from the standpoint of insurance companies, taking into account the data obtained. The practical significance of the results obtained in the course of research lies in the formation of a new approach to information processing in relation to agricultural insurance using information technology. In conclusion, the main conclusions of the study are formulated and the directions of work for the near future are determined, taking into account the results obtained.

Keywords: information support, insurance, agriculture, insurance companies, cluster analysis, object selection, decision support, risk management.

Для цитирования: Киндаев А.Ю. Поддержка принятия решений в агростраховании на основе анализа урожайности / А.Ю. Киндаев, А.В. Моисеев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 36-40. – EDN: BGCHUQ.

Введение. Сельское хозяйство является ключевым звеном в обеспечении продовольственной безопасности страны [1-3]. Аграрное производство больше чем любая другая отрасль экономики подвержено влиянию природно-климатических факторов, которые существенным образом влияют на эффективность производства. Территория нашей страны обладает огромным потенциалом в выстраивании эффективной системы сельскохозяйственного производства [4]. Важным здесь выступает эффективная система экономического взаимодействия между различными институтами (сельскохозяйственные организации, страховые компании, государство) [5-7]. Как уже было сказано, природные условия вносят свои коррективы в деятельность сельскохозяйственных предприятий. Стохастический процесс производства и ограниченные возможности минимизации таких ситуаций, вынуждают сельскохозяйственных товаропроизводителей (прежде всего, это касается растениеводческого подкомплекса) искать пути для обеспечения устойчивого и поступательного развития.

Одним из эффективных инструментов обеспечения финансовой безопасности является сельскохозяйственное страхование, которое призвано компенсировать убытки, возникшие в ходе производственного цикла [8-12]. Сельскохозяйственное страхование позволяет определить риски, которые в случае наступления страхового случая будут компенсированы по договору страхования [13-14]. Действующая система сельскохозяйственного страхования является гибкой и позволяет каждому конкретному предприятию подобрать для себя подходящие условия, однако не всегда есть соответствующий инструмент для оценки обоснованности, необходимости, эффективности применения инструмента страхования [15-19].

Целью исследования было рассмотреть процесс анализа статистических данных с позиций страховой компании и сельскохозяйственного предприятия для поддержки принятия решений в страховании.

Методология. При принятии управленческих решений в любой области являются знания и данные, на которые можно опереться для выбора лучшей стратегии. Доступ к таким данным является крайне важным. При рассмотрении ситуации на рынке, где существует высокая конкуренция, создается некоторая абстрактная модель, которая характеризуется всеми параметрами, которые присущи реальной ситуации. Здесь предполагается, что информация между всеми участниками страховых отношений доступна в одинаковом объеме, т.е. распределена симметрично. В таких системах отсутствует неопределенность, которая могла бы внести коррективы и дать преимущество для лоббирования своих интересов одной из сторон. Однако, ситуаций в реальной жизни, где есть совершенная конкуренция, не существует, что порождает собой (как одно из проявлений) асимметрию информации,

т.е. ситуацию, в которой одна сторона обладает большей информацией, которая позволяет оценить возможные будущие события при определенных параметрах, при этом, другая стороны, не может оценить свои перспективы. Соответственно, такая ситуация порождает неравенство, которое может привести, с одной стороны к увеличенным затратам на выращивание сельскохозяйственных культур у производителей, а с другой может привести к большим затратам на выплату страховых премий у страховых компаний. Стоит так же отметить, что ситуация может быть и противоположной.

В предыдущих работах был проведен анализ данных по посевным площадям, урожайностям, валовым сборам основных сельскохозяйственных культур Пензенской, Самарской, Саратовской и Ульяновской областей в разрезе муниципальных образований. Анализ показал высокий уровень взаимосвязанности выращиваний культур между районами. В работах [20-22] был проведен анализ показателей по культурам одновременно по всем муниципальным образованиям указанных областей, в результате которого были получены по три кластера, которые характеризовались «высокой», «средней» и «низкой» урожайностями.

В данной работе предполагается новый подход в анализе информации. Предлагается строить и проводить разбиение объектов не по урожайностям, а по отклонениям от средней урожайности в конкретном регионе. Несмотря на то, что исследуемые регионы находятся достаточно компактно, все же агроклиматические условия могут различаться, равно как и результаты выращивания сельскохозяйственных культур. Так же предлагается выделять группы объектов не по трем кластерам, как было в предыдущих исследованиях, а методом k -средних с выделением 5 групп.

Результаты. В качестве исходных данных были взяты статистические данные об урожайностях за 26 лет пяти основных сельскохозяйственных культур: пшеницы озимой, пшеницы яровой, ячменя ярового, ржи озимой и овса четырех исследуемых регионов в разрезе муниципальных образований. Выделение объектов проводилось на основе кластерного анализа, методом k -средних. В результате были получены группы объектов, которые, условно, можно разделить на кластеры с «лучшей» урожайностью, «хорошей», «средней», «низкой» и «худшей» урожайностями. Где у группы объектов в категории «лучшей» является максимальная положительная разница в урожайности, относительно средней региона, в который входит муниципальный район, а у группы объектов в категории «худшей» является минимальная отрицательная разница. Результаты выделения объектов в количественном плане представлены в таблице 1.

Для наглядности, результаты проведения кластерного анализа по отдельным культурам представлены на рисунках 1-5.

Таблица 1 – Количество объектов по группам

Кластер/ Ср.значение	Рожь озимая	Овес	Ячмень яровой	Пшеница озимая	Пшеница яровая
1	4,8 11	11,5 3	3,66 18	2,7 34	3 18
2	-0,1 31	2,1 31	0,56 40	-0,6 31	2,3 2
3	-1,7 22	-1,2 44	-1,3 5	-1,7 16	0 35
4	-4,2 25	-4,2 24	-2,4 35	-4,3 14	-2,2 39
5	-5 21	-8,1 8	-6,6 12	-6,2 15	-5,6 16

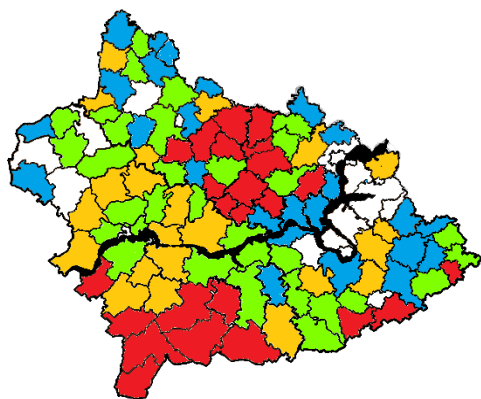


Рисунок 1 – Группировка объектов по ржи озимой

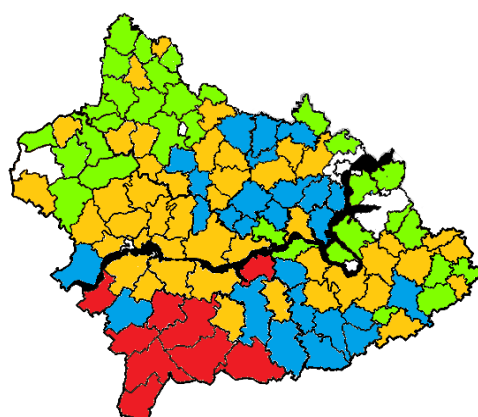


Рисунок 2 – Группировка объектов по овсу

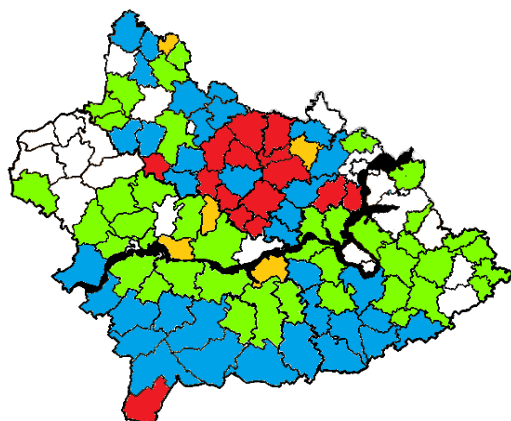


Рисунок 3 – Группировка объектов по ячменю яровому

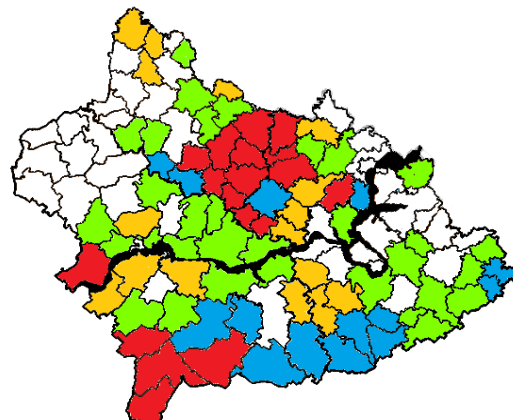


Рисунок 4 – Группировка объектов по пшенице озимой

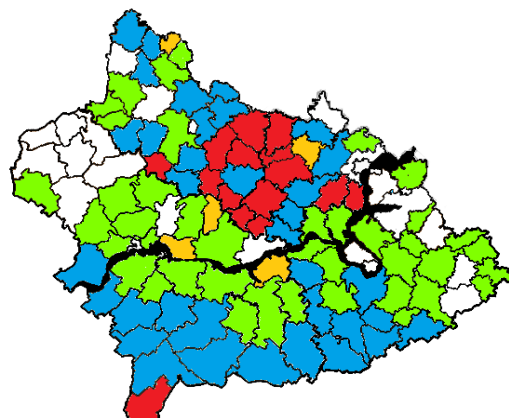


Рисунок 5 – Группировка объектов по пшенице яровой

На основе полученных результатов выло выявлено, что в 4 из 110 муниципальных образований было отмечено попадание в один и тот же кластер, 3 из которых попали в «лучший» кластер и один в «хороший». Убыток определяется исходя из средних значений, полученных за предыдущие 5 лет в регионе нахождения посевов. Для группировки объектов по всем культурам сразу используем бальную систему на основе полученных кластеров. «Лучшему»

кластеру присваивается 1 балл, «хорошему» 2 балла, «среднему» 3 балла, «низкому» 4 балла и «худшему» 5 баллов. На основе полученных сумм баллов разделим районы на три группы: районы с потенциально высокими урожайностями, районы с потенциально средними урожайностями и районы с потенциально низкими урожайностями.

Итоговое распределение представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Разбиение объектов на группы

«Высокие» урожайности	«Средние» урожайности	«Низкие» урожайности
Аркадакский, Сурский, Екаторинский, Новобураский, Калининский, Каменский, Романовский, Ртищевский, Турковский, Балашовский, Богатовский, Кошкинский, Похвистневский, Ульяновский, Пензенский, Мелекесский, Белинский, Ставропольский, Новомалыклинский, Цильнинский, Чердаклинский, Башмаковский, Бековский	Перелобский, Лунинский, Краснопартизанский, Федоровский, Иссинский, Большеглушицкий, Большечерниговский, Борский, Нефтегорский, Кузнецкий, Лопатинский, Волжский, Спасский, Камышлинский, Пестравский, Аткарский, Хворостянский, Карсунский, Радищевский, Краснокутский, Кольшлейский, Духовницкий, Ивантеевский, Кузоватовский, Бессоновский, Воскресенский, Кинель-Черкасский, Безенчукский, Красноармейский, Майнский, Шигонский, Вадинский, Земетчинский, Пачелмский, Сердобский, Марковский, Энгельский, Вешкаймский, Хвалынский, Балтайский, Мокшанский, Елховский, Наровчатский, Вольский, Саратовский, Петровский, Татищевский, Лысогорский, Базарнокарабулакский, Балаковский, Пугачевский, Клявлинский, Красноярский, Приволжский, Сергиевский, Челно-Вершинский, Советский, Исаклинский, Кинельский, Сызранский, Шенталинский, Старомайнский, Нижнеломовский, Тамалинский, Самойловский	Новоузенский, Питерский, Ровенский, Инзенский, Озинский, М.Сердобинский, Старокулаткинский, Тереньгульский, Дергачевский, Сенгилеевский, Николаевский, Камешкирский, Неверкинский, Сосновоборский, Шемьшейский, Алексеевский, Городищенский, Барышский, Ершовский, Красноармейский, Павловский, Новоспасский
23	65	22

Опираясь на данные, представленные в таблице 2 можно рассмотреть процесс страхования с разных позиций. Если рассматривать процесс страхования со стороны сельскохозяйственных организаций, то оно будет наиболее интересно в районах первого и третьего кластеров, так как там урожайности имеют существенное отличие от средних значений, присутствующих региону в целом. В таком случае риск недополучения планируемой прибыли повышается, что требует эффективных методов управления, что позволяет как раз компенсировать сельскохозяйственное страхование. Причем, для первого и третьего класса можно рассматривать страхование сразу по нескольким сельскохозяйственным культурам, в отличие от второго кластера, где средние результаты по большинству культур относятся со средними значениями в регионе, что требует анализа показателей по конкретным культурам.

Для страховых компаний ключевой задачей является максимизация прибыли и минимизация убытков. С позиций страховых компаний принятие на страхование сельскохозяйственных угодий из первого и третьего кластеров сопровождается повышенными рисками, в силу того, что в них урожайность существенно отличается от средней по конкретному региону. Вместе с тем, именно для этих территорий страхование и будет максимально интересным. В сложившейся ситуации, страховым компаниям нужно предложить условия, комфортные и приемлемые для сельскохозяйственных предприятий, но при этом не уйти в зону колоссальных убытков. Одним из способов достижения обоюдовыгодных условий является

комплексное страхование. Для регионов со средними урожайностями, вероятность недополучения прибыли будет минимальной, что позволяет предложить более низкий тариф.

Обсуждение. Информационная поддержка процесса позволяет сделать усилия в обеспечении равного доступа к информации для всех участников страховых отношений. Это существенным образом влияет на прозрачность и обоснованность принимаемых решений. Для сельскохозяйственных организаций открытость данных для принятия управленческих решений позволяет не только минимизировать потенциальные расходы, но способствует наращиванию объема производства и более эффективному управлению в условиях ограниченности ресурсов. Поддержка принятия решений является актуальным и важным направлением для всех сторон страховых отношений в сельском хозяйстве. Использование современных технологий управления, беспилотных летательных аппаратов при дистанционном зондировании, цифровые технологии позволяют быстро интегрироваться сельскохозяйственным организациям в цифровые системы. Быстродействие в принятии решений позволяет производителям сохранить будущий урожай и как результат, получить прибыль. В этом случае использование как можно большего числа инструментов для оценки различных рисков будет способствовать эффективному управлению. Развитие сельского хозяйства и страховой отрасли будет служить фундаментом обеспечения продовольственной безопасности страны. Полученные результаты

будут использованы в дальнейших исследованиях и выработке новых подходов и инструментов оценки эффективности сельскохозяйственного страхования.

Выводы. Полученные результаты являются одним из элементов системы, которая позволит участникам страхового рынка принимать обоснованные управленческие решения на основе открытых и объективных данных, доступных всем участникам в равном объеме. Практическая значимость полученных в ходе исследований результатов заключается в формировании нового подхода к обработке информации применительно к сельскохозяйственному страхованию с применением информационных технологий.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-78-00220, <https://rscf.ru/project/22-78-00220>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сплетунов Ю.А. Направления развития сельскохозяйственного страхования в современных условиях // Страховое дело. – 2021. – № 3 (336). – С. 46-56.
2. Медведева Т.Н., Фарвазова Э.А. Тенденции развития рынка агрострахования: проблемы и перспективы // Приоритетные направления регионального развития: сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием. – Курган, 2021. – С. 181-186.
3. Клишина Ю.Е., Углицких О.Н., Мазницин В.В. Страхование как форма государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2021. – № 4 (54). – С. 34-39.
4. Виноходова И.Г. Оценка страховой защиты отечественного агропромышленного комплекса // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 3 (36). – С. 70-75.
5. Сагайдак А.А., Селянский М.С. Современные тенденции развития сельскохозяйственного страхования // Последние тенденции в области науки и образования: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. – Нефтекамск, 2022. – С. 216-229.
6. Бородавко Л.С. Рынок сельскохозяйственного страхования России // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 5 (142). – С. 1148-1152.
7. Арзютова Р.Н. Рынок сельскохозяйственного страхования России и перспективы его развития // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции. В 4-х томах. – Благовещенск, 2022. – С. 166-173.
8. Винничек Л.Б., Батова В.Н. Характеристика угроз экономической безопасности сельскохозяйственных организаций // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 5. – С. 20-23.
9. Винничек Л.Б., Киндаев А.Ю. Факторы устойчивого сельскохозяйственного производства // Нива Поволжья. – 2017. – № 4 (45). – С. 29-36.
10. Винничек Л.Б., Батова В.Н. Характеристика угроз экономической безопасности сельскохозяйственных организаций // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 5. – С. 20-23.
11. Ханова А.А., Бондарева И.О., Нестерова Е.Т., Кинжалиева А.Р. Разработка стратегии цифровой трансформации предприятия // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7 (79). – С. 295-303.
12. Бондарева И.О., Ханова А.А. Многоуровневое управление организационными системами на основе каскадирования рисков // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 5. – С. 42-46.
13. Ханова А.А., Бондарева И.О. Конвергенция цифро-

вых моделей для принятия и оценки сложных управленческих решений на предприятии // Наука и практика-2020: материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции. – 2020. – С. 147.

14. Иванько Я.М., Ковадло И.А. Управление производством аграрной продукции: неоднородность земель, риски, оптимизация // Информационные и математические технологии в науке и управлении: тезисы XXVII Байкальской Всероссийской конференции с международным участием. – 2022. – С. 14.

15. Ivanyo Y., Petrova S., Kolokol'tseva I. Mathematical modeling of different aspects of agricultural production under climatic and biological risks // Critical Infrastructures in the Digital World. Proceeding of International Workshop. – 2022. – С. 25.

16. Иванько Я.М., Цыренжапова В.В. Сравнительный анализ нелинейных многоуровневых моделей, применяемых для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Молодёжный, 2022. – С. 284-292.

17. Баймаков А.А., Замаев А.О., Иванько Я.М. Применение больших объемов данных в агропромышленном комплексе // Комплексное развитие сельских территорий: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием. – Молодёжный, 2022. – С. 26-32.

18. Pavlov A., Bondin I., Bondina N. Improving the efficiency of economic management based on the development of agro-industrial clusters // International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions: Economic, Social and Security Challenges (ICSDBC 2019). Proceedings of the International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions: Economic, Social and Security Challenges (ICSDBC 2019). – Altai State University, 2019. – С. 160-164.

19. Винничек Л.Б., Павлов А.Ю., Батова В.Н. Совершенствование механизма государственной финансово-кредитной поддержки малого агробизнеса // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 6. – С. 24-27.

20. Pavlov A.Y., Kindaev A.Y., Moiseev A.V. Modeling insurance risks as a tool to improve the efficiency of the rural economy and production // AIP Conference Proceedings. 3. Ser. "III International Scientific Practical Conference "Breakthrough Technologies and Communications in Industry and City", BTC I 2020" 2021. – С. 020017.

21. Киндаев А.Ю. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений в управлении страховыми рисками // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук /Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина. – Рязань, 2021.

22. Kindaev A., Moiseev A., Kolobova E. Using neural network technologies to reduce information asymmetry // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems" (ITIDMS-II-2021). – Aachen, Germany, 2021. – С. 1-6.

Статья поступила в редакцию 14.12.2022

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 519.6

EDN: BWQCRC

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЛОСКОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ ПРИ ОТКРЫТОМ ГОРЕНИИ
ВЕЩЕСТВА В ЗАМКНУТОМ ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

© Автор(ы) 2023

SPIN-код: 9075-4096

AuthorID: 642415

ORCID: 0000-0003-4511-7176

ResearcherID: GOP-3388-2022

ScopusID: 57190165261

КУЗИНА Валентина Владимировна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Информационно-вычислительные системы»

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: kuzina@pguas.ru)*

SPIN-код: 2866-1323

AuthorID: 572404

ORCID: 0000-0001-7241-3304

ResearcherID: Q-9670-2016

ScopusID: 54079792900

КОШЕВ Николай Александрович, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего профессионального образования
Сколковский институт науки и технологий*

(143026, Россия, г. Москва, ул. Нобеля, 3, e-mail: nikolay.koshev@gmail.com)

ЧИРКИН Кирилл Денисович, аспирант кафедры «Информационно-вычислительные системы»

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: chirkinkd@gmail.com)*

SPIN-код: 1569-1966

AuthorID: 47930

ORCID: 0000-0003-3057-4980

ResearcherID: AAD-1496-2021

ScopusID: 8900920000

КОШЕВ Александр Николаевич, доктор химических наук,
профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы»
*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mail: koshev@pguas.ru)*

Аннотация. Методом компьютерного эксперимента проведено исследование конвективной диффузии технического углерода (сажи), образующегося в результате горения источников, расположенных на плоском круге или прямоугольнике в замкнутом пространстве помещения. Цель исследования – создание методики математического моделирования процесса распределения сажи в окрестности источника, включающей построение математических моделей, разработку методов расчета и проведение численных экспериментов по расчету плоской диффузии продукта горения точечного источника. В качестве примера рассмотрены диффузионные процессы при горении одной или группы свечей, расположенных на плоской прямоугольной подставке в замкнутом помещении. Рассмотрены возможные варианты распространения технического углерода, образующегося при сгорании точечных тепловых источников, такие как двухмерная диффузия, когда распространение продуктов горения происходит на некотором плоском участке, а также двухмерная конвективная диффузия, при которой кроме диффузионной составляющей потока микрочастиц сажи проявляется конвективная составляющая потока, обусловленная горизонтальной принудительной или естественной вентиляцией помещения. Приводятся примеры численного решения моделирующих уравнений, результаты расчетов и сравнение полученных результатов численных экспериментов с экспериментальными данными.

Ключевые слова: аэродинамический поток, точечный источник горения, математическое моделирование, плоская конвективная диффузия.

**MATHEMATICAL MODELING OF CARBON BLACK DISTRIBUTION AS A RESULT OF PLANE
CONVECTIVE DIFFUSION DURING OPEN COMBUSTION OF A SUBSTANCE
IN A CLOSED LIMITED SPACE**

© The Author(s) 2023

KUZINA Valentina Vladimirovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department «Information and computing systems»

*Penza State University of Architecture and Construction
(440028, Russia, Penza, German Titov St., 28, e-mail: kuzina@pguas.ru)*

KOSHEV Nikolay Alexandrovich, candidate of physical and mathematical sciences,
computation and data-intensive science and engineering, senior lecturer

*Skolkovo Institute of Science and Technology
(143026, Moscow, Nobelya street, 3, e-mail: nikolay.koshev@gmail.com)*

CHIRKIN Kirill Denisovich, postgraduate student of the Department «Information and computing systems»

KOSHEV Alexander Nikolaevich, doctor of chemistry science,
professor of the department «Information and computing systems»

*Penza State University of Architecture and Construction
(440028, Russia, Penza, German Titov St., 28, e-mails: chirkinkd@gmail.com, koshev@pguas.ru)*

Abstract. The method of computer experiment was used to study the convective diffusion of carbon black (soot) formed as a result of combustion of sources located on a flat circle or rectangle in a closed space of a room. The purpose of the study is to create a technique for mathematical modeling of the process of soot distribution in the vicinity of a source, including the construction of mathematical models, the development of calculation methods, and the conduct of numerical experiments to calculate the planar diffusion of the combustion product of a point source. As an example, diffusion processes are considered during the combustion of one or a group of candles located on a flat rectangular stand in a closed room. Possible options for the propagation of carbon black formed during the combustion of point heat sources are considered, such as two-dimensional diffusion, when the combustion products spread over a certain flat area, and two-dimensional convective diffusion, in which, in addition to the diffusion component of the soot microparticles flow, a convective component of the flow is manifested, due to the horizontal forced or natural ventilation of the room. Examples of numerical solution of modeling equations, calculation results and comparison of the obtained results of numerical experiments with experimental data are given.

Keywords: aerodynamic flow, point source of combustion, mathematical modeling, plane convective diffusion.

Для цитирования: Кузина В.В. Математическое моделирование распределения технического углерода в результате плоской конвективной диффузии при открытом горении вещества в замкнутом ограниченном пространстве / В.В. Кузина, Н.А. Кошев, К.Д. Чиркин, А.Н. Кошев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 41-46. – EDN: BWQCRC.

Введение. Исследование микроклимата в ограниченном пространстве замкнутого помещения является одной из актуальных задач теплообмена, экологии, энергосбережения, отопительно-вентиляционной техники и др. Как правило, измерения фактических параметров микроклимата помещения производятся экспериментально. Однако для определения прогнозных характеристик используют вычислительные алгоритмы и численные методы на основе математического моделирования [1-13].

В помещениях непромышленного назначения микроклимат формируется вследствие конвективного, кондуктивного и радиационного теплообмена, а также в процессе молекулярной и конвективной диффузии загрязняющих воздух веществ [14]. В статье [15] представлен алгоритм решения задачи по определению параметров поля переноса пассивной примеси (температуры, энтальпии, концентрации) в ограниченном пространстве при решении задач строительства. В работе [16] рассмотрены некоторые аспекты математического моделирования тепловых процессов, происходящих при горении свечей в ограниченном помещении (например, в православном храме).

Целью данной работы является разработка методики математического моделирования и расчета плоской диффузии продукта горения точечного источника – технического углерода. В качестве примера рассмотрены диффузионные процессы при

горении одной или группы свечей, расположенных на плоской прямоугольной подставке в замкнутом помещении.

Методология. Распределение массивной примеси в ограниченном пространстве вследствие горения в точечных источниках описывается, в общем виде, уравнением [17, 18]:

$$\rho \frac{dC}{dt} = D \nabla^2 C + J. \quad (1)$$

Здесь C – концентрация интересующего нас технического углерода (сажи); ρ – плотность среды; J – источник массы; D – коэффициент диффузии. Условимся, что эффектами термодиффузии и бародиффузии можно пренебречь в сравнении с диффузией, вызванной градиентом концентрации молекул рассматриваемого вещества. Коэффициент D примем за постоянную величину. Объектом моделирования будем считать двухмерную диффузию технического углерода, образующегося в процессе горения источника, например, свечи, или группы свечей, расположенных на прямоугольной подставке.

Процесс плоской диффузии в ограниченном пространстве имеет смысл рассматривать, когда распространение продуктов горения в пространстве помещения происходит на некотором фиксированном участке, причем однотипные процессы можно считать эквивалентными в любом плоском сечении по некоторой выбранной координате. Примером может служить диффузия сажи от свечей, расположенных

на плоской прямоугольной подставке – рисунки 1, 2.

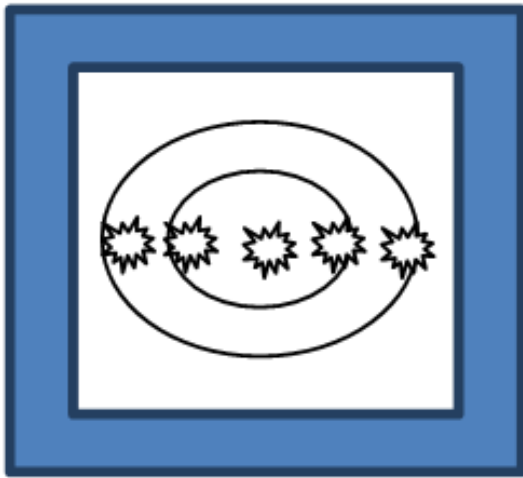


Рисунок 1 – Схематическое изображение точечных тепловых источников (свечи) на прямоугольной подставке

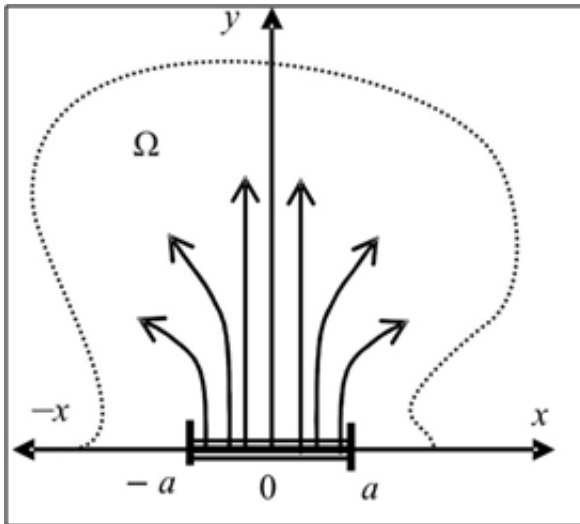


Рисунок 2 – Источник горения постоянной мощности, действующий на участке границы $[-a; a]$ плоского сечения ограниченного пространства

Математическая модель. 1. Диффузия при отсутствии конвективного переноса вещества. Сделанные ранее предположения и упрощения позволяют рассматривать уравнение диффузии сажи без учета принудительной или естественной конвекции как двумерное, заданное в некоторой области Ω (рис. 2) [19], которое имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right). \quad (2)$$

Для случая, когда на участке границы от $-a$ до $+a$ находится постоянно действующий источник ЗВ с плотностью $p(x, \tau)$, а начальная концентрация технического углерода в пространстве равна нулю, в качестве граничных условий можно выбрать следующие:

$$C(x, y, 0) = 0, \frac{\partial c}{\partial y} \Big|_{y=0} = \begin{cases} p(x, \tau) & \text{при } -a \leq x \leq a, \\ 0 & \text{при } x \notin [-a, a], \end{cases} \quad (3)$$

где $p(x, \tau)$ – плотность потока примеси.

$$C(x, 0) = C_{\varphi} -a \leq x \leq a, C(x, y) \Big|_{y=\infty} = 0, C(x, y) \Big|_{x=\pm\infty} = 0. \quad (4)$$

Решение подобной задачи для случая, когда источник расположен на всей плоскости xOy , получено в [19] с помощью преобразования Фурье с ядром специального вида. После преобразований, необходимых для перехода к условиям нашей задачи, формула для расчета концентраций загрязняющих веществ примет вид:

$$C(x, y, \tau) = \frac{1}{(2\sqrt{D\pi})^3} \int_0^{\tau} \frac{dt}{(\tau-t)^{3/2}} \int_{-a}^a e^{-\frac{(x-\xi)^2+y^2}{4D(\tau-t)}} P(\xi, t) d\xi. \quad (5)$$

Для рассматриваемого случая горения естественно предположить, что функция источника $p(x, \tau) = \text{const} = p$, т.е. в любой точке $x \in [-a, a]$ в любой момент времени τ через границу $[-a, a]$ в помещение поступает примесь с фиксированной плотностью потока. Тогда формула (5) упрощается и приводится к виду

$$C(x, y, \tau) = \frac{P}{(2\sqrt{D\pi})^3} \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{(\tau-t)^{3/2}} \int_{-a}^a e^{-\frac{(x-\xi)^2+y^2}{4D(\tau-t)}} d\xi \quad (6)$$

или

$$C(x, y, \tau) = \frac{P}{(2\sqrt{D\pi})^3} \int_0^{\tau} \int_{-a}^a \left[\frac{1}{(\tau-t)^{3/2}} \right] \cdot e^{-\frac{(x-\xi)^2+y^2}{4D(\tau-t)}} d\xi dt. \quad (7)$$

Формула (7) позволяет рассчитывать распределение концентрации в горизонтальном сечении пространства помещения в заданный момент времени τ .

Некоторые результаты расчетов представлены на рисунке 3.

2. Конвективная диффузия. Моделирование нестационарной конвективной диффузии в плоской воздушной среде помещения (рис. 4), обусловленной принудительной или искусственной вентиляцией, при распространении ЗВ от постоянно горящего источника основывается на обобщенном уравнении (3), которое в данном случае можно записать в виде

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) + v \cdot \text{grad} C, \quad (8)$$

где $v = (v_x, v_y)$ – вектор скорости движения воздушной смеси.

Наиболее реалистичным, по-видимому, является случай, когда $v = v_x$, т.е. движение воздуха осуществляется в одном направлении, параллельном оси Ox , на которую помещен источник горения. Уравнение (8) в этом случае имеет вид

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) + v \frac{\partial c}{\partial x}. \quad (9)$$

Введем в рассмотрение новую функцию посредством следующей замены:

$$C(x, y, \tau) = G(x, y, \tau) \cdot e^{-\frac{v}{2D} x - \frac{v^2}{4D^2} \tau}. \quad (10)$$

Для этой функции получим уравнение

$$\frac{\partial G}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \right). \quad (11)$$

Вид уравнения (11) идентичен виду уравнения (2), а краевые условия для этого уравнения легко получаются из краевых условий (3), так как:

$$\frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial G}{\partial y} \cdot e^{-\frac{v}{2D}x - \frac{v^2}{4D^2}\tau} \quad (12)$$

Из уравнений (3) и (12) получим краевые условия для искомой функции $G(x, y, \tau)$:

$$\frac{\partial G}{\partial y} = \begin{cases} p(x, \tau) \cdot e^{\frac{v}{2D}x - \frac{v^2}{4D^2}\tau} & \text{при } -a \leq x \leq a; \\ 0 & \text{при } x \notin [-a, a]. \end{cases} \quad (13)$$

Решение задачи (11), (12) совершенно аналогично решению задачи (2), (3) и может быть представлено в виде

$$\begin{aligned} G(x, y, \tau) &= \frac{1}{(2\sqrt{D\pi})^3} \int_0^\tau \frac{dt}{(\tau-t)^{3/2}} \int_{-a}^a e^{-\frac{(x-\xi)^2+y^2}{4D(\tau-t)} + \frac{v\xi}{2D} - \frac{v^2\tau}{4D^2}} p(\xi, t) d\xi = \\ &= \frac{1}{(2\sqrt{D\pi})^3} \int_0^\tau \int_{-a}^a \frac{1}{(\tau-t)^{3/2}} e^{-\frac{(x-\xi)^2+y^2}{4D(\tau-t)} + \frac{v\xi}{2D} - \frac{v^2\tau}{4D^2}} p(\xi, t) d\xi dt. \end{aligned} \quad (14)$$

Заметим, что в случае, когда принудительная вентиляция над источником горения осуществляется в вертикальном направлении (например, при размещении над источником вытяжного устройства), или же если движение воздуха в помещении происходит как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, решение задачи (8) и краевые условия для неизвестной функции формируются аналогично представленному в выражениях (9) – (14).

Метод расчета. Формулы для расчета концентраций загрязняющих веществ (7) и (14) могут быть сведены к последовательным расчетам сверток по пространственным координатам и по времени. Для расчета сверток использовалось быстрое преобразование Фурье, что позволило существенно снизить вычислительную сложность и требования к мощностям, необходимым для решения задачи. Вычислительная сложность при таком подходе пропорциональна $N^2 \log^2(N) + N_t \log(N_t)$, где N – число узлов сетки в пространственных координатах (x, y) , а

N_t – число временных отсчетов.

Численная реализация решений проводилась с использованием языка программирования *Python* [20] и библиотек / модулей *Numpy*, *Scipy* и *Matplotlib*. Расчеты проводились на компьютере *Apple MacBook Pro 16*: процессор *Apple M1 Max*, 10 ядер x 3.2 ГГц; ОЗУ: 64 Гб. Для расчётов использовались 300×300 пространственных координат и 2000 временных отсчетов. Вычисление в среднем занимало 1 – 3 секунды, объем использования ОЗУ не превышал 2 Гб.

Результаты. Распределение технического углерода в окрестностях источника горения при расчете диффузия без учета конвективной составляющей по уравнению (7) представлено на рисунке 3. Полученные результаты не противоречат экспериментальным данным.

Распределение технического углерода в окрестности источника горения при расчете плоской (двухмерной) конвективной диффузии по моделирующему уравнению (14) приведено на рисунке 4.

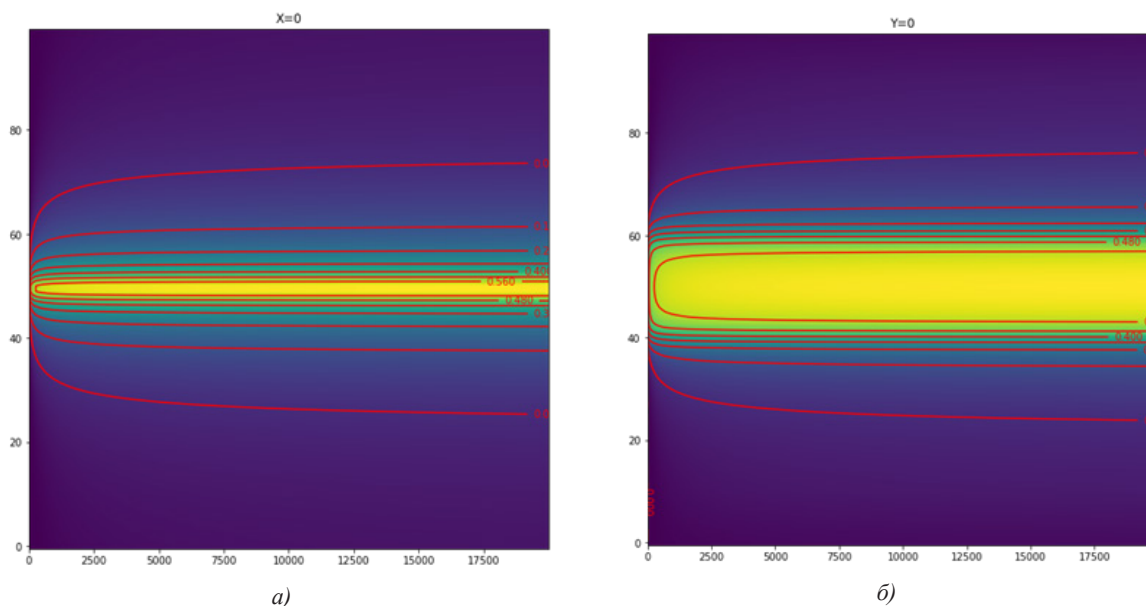


Рисунок 3 – Распределение технического углерода в окрестности источника горения с течением времени:
а) – в интервале $\tau \in [0, 18000]$, с. в сечениях $x=0$; $y \in [0, 1.0]$; б) $y=0$; $x \in [0, 1.0]$

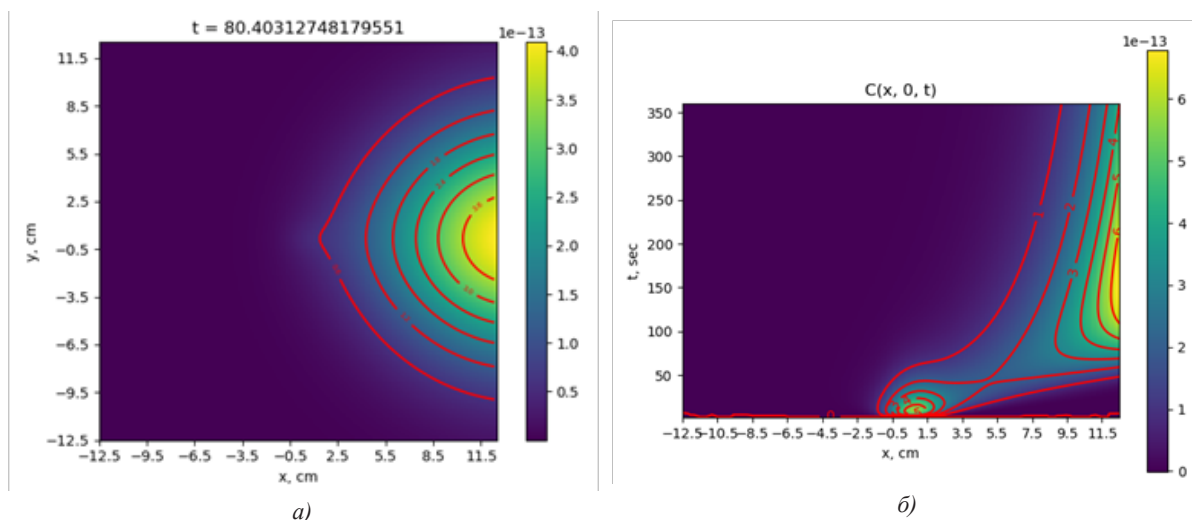


Рисунок 4 – Распределение технического углерода в окрестности источника горения с течением времени с учетом конвективной составляющей: а) распределение концентрации по пространственным координатам; б) зависимость концентрации по координате x от времени; граница расчетной области – $B=50$ см

Обсуждение. Выполнено математическое моделирование процессов распространения технического углерода, образующегося при сгорании точечных тепловых источников, таких как:

1) двухмерная (плоская) диффузия, когда распространение продуктов горения происходит на некотором фиксированном участке;

2) двухмерная (плоская) конвективная диффузия, при которой, кроме диффузионной составляющей потока микрочастиц сажи, существенной является конвективная составляющая потока, обусловленная горизонтальной принудительной или естественной вентиляцией помещения.

Выводы. В результате математического моделирования процесса распределения сажи в окрестности источника, включающего построение математических моделей, методов расчета и проведение численных экспериментов по расчету плоской диффузии продукта горения точечного источника, выполнено исследование диффузионного распространения ЗВ с использованием языка программирования *Python*.

Сравнение с экспериментальными данными подтверждает адекватность полученных математических моделей, что позволяет сделать выводы о возможности и целесообразности использования результатов исследования для решения практических задач, а также дальнейшего совершенствования математических моделей, методов расчетов и компьютерных процедур для проведения вычислительных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Евсина, Е.М. Математическая модель процессов воздухообмена, кондиционирования, отопления и систем горячего водоснабжения при проектировании объекта «Зелёное строительство» / Е.М. Евсина, Е.А. Немерицкая, К.С. Корнева, М.А. Беззубикова // В сборнике: «Потенциал интеллектуально одарённой молодежи – развитию науки и образования». Материалы VIII Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и

школьников. В 2-х томах. Под общ. ред. Т.В. Золиной. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. – 2019. – С. 122-126.

2. Еремкин, А.И. Исследование влияния конвективных потоков от отопительных приборов на климатические условия и сохранность убранства в залах богослужения церкви, храмов, соборов. / А.И. Еремкин, К.А. Петрова, И.К. Пономарева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 150-157.

3. Еремкин, А.И. Разработка и апробация методики расчета воздухообмена на основе определения концентрации сажи и копоти в воздухе при сгорании церковных свечей в православных культовых сооружениях / А.И. Еремкин, А.Г. Аверкин, И.К. Пономарева // Приволжский научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 119-127.

4. Килин, П.И. Исследование закономерностей диффузионного распространения вредных примесей / П.И. Килин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 1(9). – С. 66-78.

5. Кочев, А.Г. Внутренняя и внешняя аэродинамика православных храмов / А.Г. Кочев, М.М. Соколов // В сборнике: Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году. Сборник научных трудов РААСН. – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук. – 2022. – С. 150-156.

6. Кочев, А.Г. Экспериментальное определение аэродинамических характеристик культовых зданий и сооружений / А.Г. Кочев, М.М. Соколов, Е.А. Пак // Приволжский научный журнал. – 2020. – № 4 (56). – С. 119-124.

7. Кочев, А.Г. Тепломассообмен в зданиях и инженерном оборудовании: учеб. пособие / А.Г. Кочев, М.М. Соколов, Е.А. Кочева, А.С. Москаева. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. – 88 с. ISBN 978-5-528-00212-5.

8. Кривошеин М.А. Математическое моделирование распределения воздуха в системах вентиляции жилых зданий / М.А. Кривошеин, А.Д. Кривошеин // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 12. – С. 72-80.

9. Кузина В.В. Математическое и компьютерное моделирование в задачах строительства и технологической безопасности: моногр. / Кузина В.В., Кошев А.Н. – Пенза: ПГУАС, 2019. – 136 с. ISBN 978-5-9282-1587-3.

10. Рогова Т.Н. Решение задачи оптимизации при проектировании устройств местной вытяжной вентиляции / Т.Н. Рогова. // В сборнике: «Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте». – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены Роспотребнадзора. – 2016. – С. 50-56.

11. Старкова Л.Г. Оптимизация микроклимата в

православном храме методом числового моделирования воздушных потоков / Л.Г. Старкова, Ю.А. Морева, Ю.Н. Новоселова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18. – № 3. – С. 53-59.

12. Чуйкин С.В. Математическое моделирование потоков воздуха в помещении при организации вытесняющей вентиляции / С.В. Чуйкин, С.Г. Тульская, К.А. Скляров, Е.О. Благовестная // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2(7). – С. 15-20.

13. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении / И.А. Шепелев. – М.: Стройиздат, 1978. – 144 с.

14. Пророкова, М.В. Математическое моделирование тепломассообмена в помещении для решения задач энергосбережения / Пророкова М.В., Бухмиров В.В. // Материалы международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции. – Том II. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. – 2019. – С. 260-263.

15. Кузина В.В. Математическое моделирование процессов переноса пассивной примеси в ограниченном пространстве / В.В. Кузина, А.Н. Кошев // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 4(33). – С. 133-141.

16. Кузина В.В. Математическое моделирование распределения конвективного потока над компактно расположенными точечными тепловыми источниками / В.В. Кузина, А.Н. Кошев, А.И. Еремкин // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 1 (50). – С. 75-80.

17. Справочник по элементарной физике / Н.Н. Кошкин, М.Г. Ширкевич. – М., Наука, 1976. – 256 с.

18. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1966. – 724 с.

19. Будак, Б.М. Сборник задач по математической физике / Б.М. Будак, А.А. Самарский, А.Н. Тихонов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1972. – 668 с.

20. Хайбрахманов, С.А. Основы научных расчётов на языке программирования Python: учеб. пособие / С.А. Хайбрахманов. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2019. – 96 с. ISBN 978-5-7271-1629-6.

Статья поступила в редакцию 14.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 372.881.1

EDN: BXLQAJ

РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

©Автор 2022

SPIN-код: 727-7712

AuthorID: 768954

ORCID: 0000-0002-4776-5030

ScopusID: 57209794367

УЛЬЯНОВ Александр Дмитриевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Управления в технических системах»

Братский государственный университет

(665709, Россия, г. Братск, улица Макаренко 40, e-mail: coberul@gmail.com)

Аннотация. Целью проводимого исследования является апробация метода резонансного диагностирования для получения диагностической информации о техническом состоянии системы автоматического регулирования скорости двигателя постоянного тока в режиме нормального функционирования. Актуальность разработки новых методов диагностирования обуславливается широким использованием электромеханических объектов в современной промышленности. Поэтому диагностика технического состояния и предотвращение внезапных отказов является первостепенной задачей для поддержания конкурентно способного состояния предприятия, и всей промышленности в целом. Зачастую, в реальных системах автоматического регулирования для получения диагностической информации в реальном времени, не хватает априорных, полученных до введения в эксплуатацию промышленного объекта, данных и может возникнуть необходимость получения дополнительных данных о его эксплуатационном поведении. Резонансный метод диагностирования позволяет определить числовые значения структурных параметров исследуемого объекта по резонансным частотам в режиме реального времени. Для применения данного метода необходимо определить резонансные частоты, рассчитать их зависимость от значения структурных параметров, составить необходимое количество уравнений, равное числу диагностируемых параметров. В ходе проведенных исследований были получены данные позволяющие определить значения структурных параметров, процент отклонения от номинальных значений и сформировать прогноз о его техническом состоянии.

Ключевые слова: диагностика, процедуры резонансной диагностики, САР, двигатель постоянного тока.

RESONANCE METHOD OF DIAGNOSTICS OF DC MOTOR

©Author 2022

ULYANOV Alexander Dmitrievich, candidate of technical sciences

associate Professor of the Department "Controls in Technical Systems"

Bratsk State University

(665709, Russia, Bratsk, Makarenko st. 40, e-mail: coberul@gmail.com)

Abstract. The purpose of the study is to test the method of resonant diagnostics to obtain diagnostic information about the technical system of automatic control of the speed of a DC motor in normal operation. The relevance of the development of new diagnostic methods is determined by the widespread use of electromechanical objects in modern industry. Therefore, the diagnosis of the technical condition and the prevention of sudden failures is a paramount task to maintain a competitive state of the enterprise, and the entire industry as a whole. Often, in real automatic control systems, to obtain diagnostic information in real time, there is not enough a priori data obtained before the commissioning of an industrial facility, and it may be necessary to obtain additional data on its operational behavior. The resonant diagnostic method makes it possible to determine the numerical values of the structural parameters of the object under study by resonant frequencies in real time. To apply this method, it is necessary to determine the resonant frequencies, calculate their dependence on the value of structural parameters, and compile the required number of equations equal to the number of diagnosed parameters. In the course of the research, data were obtained that allow determining the values of structural parameters, the percentage of deviation from the nominal values and forming a forecast about its technical condition.

Keywords: diagnostics, resonance diagnostics procedures, ACS, DC motor.

Для цитирования: Ульянов А.Д. Резонансный метод диагностирования двигателя постоянного тока / А.Д. Ульянов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 47-52. – EDN: BXLQAJ.

Введение. Наиболее перспективным направлением в современных системах автоматического регулирования (САР) является то, управление обеспечивающее требуемое качество функционирования объекта автоматизации с учетом непрерывной

идентификации и диагностики объектов управления в процессе эксплуатации [1-10].

Зачастую, в реальных САР для получения диагностической информации в реальном времени, не хватает априорных, полученных до введения в

эксплуатацию промышленного объекта (ПО), данных и может возникнуть необходимость получения дополнительных данных о его эксплуатационном поведении. Полученные данные могут содержать косвенные признаки о техническом состоянии объекта, и на основе их анализа может быть сформирован прогноз о его дальнейшем функционировании.

В результате идентификации ПО, как первого этапа диагностирования, могут быть полученные различные математические модели и числовые значения для этих моделей, причем каждая полученная модель будет содержать определенную погрешность и допущения. Для получения максимально значимых результатов диагностирования, необходимо исключить ошибку идентификации или разработать методы минимизирующие эту ошибку. То есть глубокая и точная идентификация ПО имеет основополагающее значение для разработки алгоритмов диагностики ПО [5, 13, 17-21].

В ходе решение задачи диагностирования могут быть получены множество частных решений. Для этой цели были использованы методы компьютерного моделирования, метод пробных подключений и резонансный метод диагностирования колебательных объектов [8, 10, 18-21]. Выбор решения, соответствующего реальному техническому состоянию объекта диагностирования, может быть

получено при помощи эвристического анализа множества полученных решений.

Доля электромеханических объектов в современной промышленности составляет порядка 20% и продолжает ежегодно увеличиваться, поэтому своевременная диагностика технического состояния и предотвращение внезапных отказов является первостепенной задачей для поддержания конкурентно способного состояние предприятия, и всей промышленности в целом.

Цель проводимого исследования заключается в апробации метода резонансного диагностирования для проведения диагностики САР скорости двигателя постоянного тока (ДПТ) в режиме нормального функционирования.

Методология. Для точного определения состояния ПО необходимо производить идентификацию и диагностику при нормальном режиме работы. Это позволяет точно прогнозировать внезапные отказы на основе определения постепенных отказов.

В качестве системы диагностирования рассматривается классическая САР скорости ДПТ, состоящая из последовательно соединенных усилителя и ДПТ, а также тахогенератора подключенного в цепь обратной связи.

Функциональная схема системы представлена на рисунке 1.

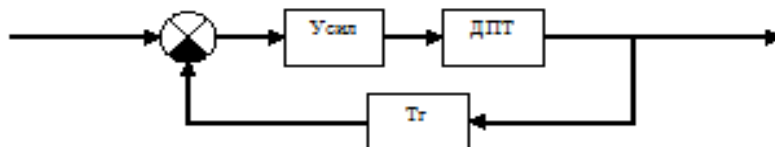


Рисунок 1 – Функциональная схема САР скорости ДПТ

Если переходная характеристика ДПТ аппроксимируется апериодической передаточной функцией второго порядка, а усилитель – первого порядка [8], то передаточная функция САР скорость ДПТ [2] примет вид:

$$W(p) = \frac{K_{p.c}}{\alpha_0 p^3 + \alpha_1 p^2 + \alpha_2 p + \alpha_3}, \quad (1)$$

где

$\alpha_0 = T_{o1} T_{o2} T_y$, $\alpha_1 = T_{o1} T_y + T_{o2} T_y + T_{o1} T_{o2}$, $\alpha_2 = T_{o1} + T_{o2} + T_y$, $\alpha_3 = K_{p.c} + 1$, $K_{p.c} = K_{\text{эп}} \cdot K_y \cdot K_o \cdot K_{mz}$ – коэффициент передачи без обратной связи; $K_{\text{эп}}$ – коэффициент передачи электронного усилителя; K_y – коэффициент передачи усилителя мощности; K_o – коэффициент передачи двигателя; K_{mz} – коэффициент передачи тахогенератора; T_{o1} и T_{o2} – постоянные времени электромеханического двигателя; T_y – постоянная времени усилителя.

Электромеханические системы в целом, и двигатели постоянного тока в частности, имеют ярко выраженные резонансные частоты в низкочастотных областях [9]. Поэтому определение резонанс-

ной частоты при помощи натуральных экспериментов или с помощью компьютерного моделирования не составляет особого труда. А полученные данные могут быть использованы для определения технических характеристик диагностируемого устройства.

Далее необходимо определить значения коэффициентов передаточной функции исследуемой системы, при помощи различных методов идентификации [5, 8, 13, 17, 18] или в случае первичного ввода в эксплуатацию взять значения структурных параметров диагностируемых элементов из паспортной документации. Затем необходимо определить зависимость структурных параметров диагностируемого объекта от значений коэффициентов передаточной функции и их влияние на техническое состояние объекта в целом.

Из выражений (1) видно, что параметры передаточной функции на прямую зависят от значений T_{o1} , T_{o2} , T_y , $K_{p.c}$.

Система уравнений, описывающая зависимость коэффициентов передаточной функции системы от постоянных времени её компонентов имеет вид [2]:

$$\left. \begin{aligned} T_{д1} T_{д2} T_y &= \alpha_0; \\ T_{д1} T_y + T_{д2} T_y + T_{д1} T_{д2} &= \alpha_1; \\ T_{д1} + T_{д2} + T_y &= \alpha_2; \\ K_{p.c} + 1 &= \alpha_3. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Числовое значение каждого из параметров системы $T_{д1}$, $T_{д2}$, T_y в той или иной мере описывает её техническое состояние и может быть в дальнейшем использован для проведения диагностики системы в целом [8].

Известные методы диагностирования [1-4] позволяют оценить расхождение постоянных времени полученных передаточных функций от их номинальных значений, полученных в ходе пусконаладочных работ, или указанных паспортных данных. Получение экспериментальных передаточных характеристик для многих промышленных объектов не является возможным. Причиной этому могут послужить: непрерывный режим работы объекта, сложно в получении переходной характеристики, длительность переходного процесса. Поэтому предлагается использовать более простую в получении характеристику объекта, а именно АЧХ или значения резонансных частот.

Рассматриваемый метод позволяет производить диагностику в режиме реального времени по текущему значению резонансных частот системы. Суть метода можно описать следующим алгоритмом [8]:

- необходимо найти резонансные частоты исследуемой системы экспериментальным методом либо же при помощи компьютерного моделирования;
- рассчитать влияние внутренних параметров системы на резонансные частоты;
- если количество диагностируемых параметров системы превышает количество резонансных частот, необходимо воспользоваться методом пробных подключений.

Но необходимо отметить, что если какой-то

параметр системы не оказывает сильного влияния на колебательную составляющую, то определить его числовые значения предложенным методом будет не возможно.

Для проведения диагностики в режиме реального времени, необходимо использовать дополнительное программное обеспечение. Для реализации представленного алгоритма была выбрана программная среда *MATLAB*.

Практическая значимость. После ввода в эксплуатацию рассматриваемой системы автоматического регулирования, зная паспортные значения структурных параметров диагностируемых устройств, получены следующие параметры системы, которые в дальнейшем будут считаться номинальными:

- коэффициент преобразующего устройства $K_{p.c} = 3,65$;
- электромеханические постоянные времени двигателя $T_{д1} = 0,18$ с., $T_{д2} = 0,68$ с.;
- постоянная времени усилителя $T_y = 0,12$ с.

Для нахождения коэффициентов передаточной функции, подставим номинальные значения в систему (2), передаточная функция двигателя постоянного тока примет вид

$$W(p) = \frac{3,65}{0.014688p^3 + 0.2256p^2 + 0.98p + 4.65}$$

Для определения изменения номинальных параметров системы автоматического регулирования необходимо снять экспериментальную переходную характеристику и произвести её идентификацию [8].

На рисунке 2 номинальная переходная характеристика, полученная при проведении пусконаладочных работ, сравнивается с характеристикой полученной экспериментально, в режиме нормальной эксплуатации.

Видно что присутствует явно выраженное расхождение двух характеристик, что говорит об изменении технических характеристик эксплуатируемого объекта.

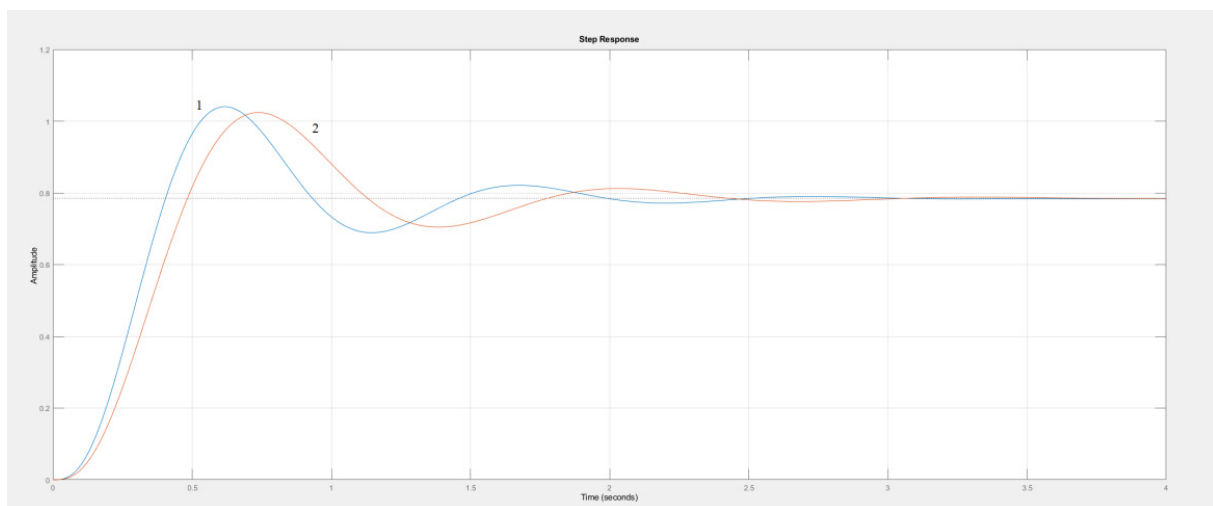


Рисунок 2 – Переходные характеристик САР скорости ДПТ,
где 1 – экспериментальная характеристика, 2 – номинальная характеристика

Для проведения дальнейшей диагностики необходимо провести идентификацию экспериментальной переходной характеристики объекта с целью получения актуальных значений коэффициентов передаточной функции, и проведении дальнейшего анализа их изменения.

Так как структура и вид передаточной функции уже был определен выше, а также были определены номинальные значения постоянных времени, то целесообразно использовать вторичный метод идентификации [18]. Данный метод позволяет определить числовые значения коэффициентов передаточной функции с требуемой точностью при помощи компьютерного моделирования в программной среде *MATLAB*.

При помощи метода вторичной идентификации были получены уточненные коэффициенты передаточной функции $T_{\delta 1}=0.12\text{с.}$, $T_{\delta 2}=0.6\text{с.}$, $T_y=0.14\text{с.}$, $K_{p.c.}=3.65$.

Ошибка идентификации составила $S_m=1,33\%$. Сравнение экспериментальной и расчетной передаточной функции с уточненными коэффициентами представлено на рисунке 3.

После проведения вторичной идентификации передаточная функция системы примет вид

$$W(p) = \frac{3,65}{0.01008p^3 + 0.1728p^2 + 0.86p + 4.65} \quad (3)$$

В таблице 1 приведены полученные значения параметров САР скорости ДПТ, а также их отклонения от номинальных значений в процентах.

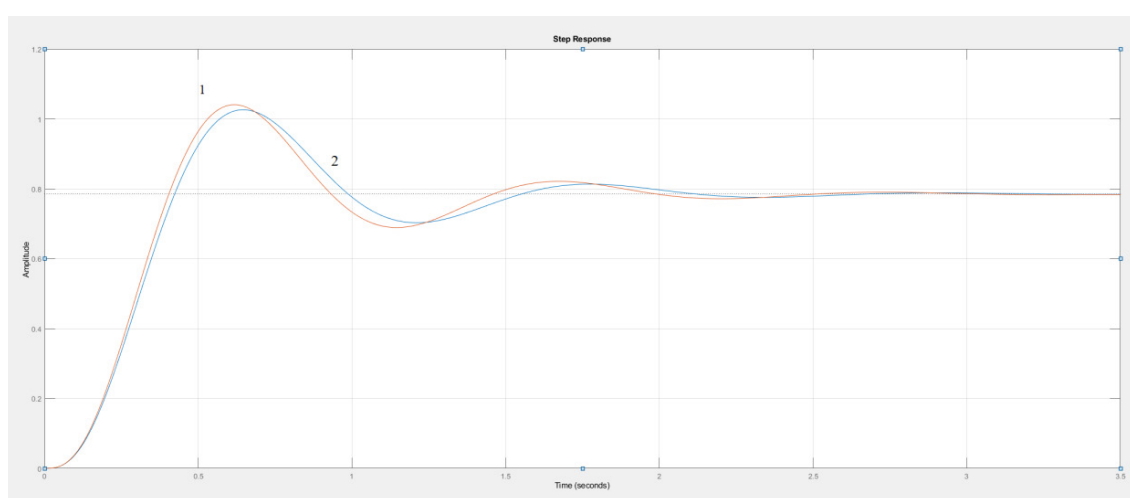


Рисунок 3 – Переходные функции САР скорости ДПТ при вторичной идентификации:
1 – экспериментальная характеристика, 2 – расчетная характеристика

Таблица 1 – Полученные значения параметров САР скорости ДПТ

Параметр	$K_{p.c.}$	$T_{\delta 1}$	$T_{\delta 2}$	T_y
Номинальное значение	3,65	0,18	0,68	0,12
Полученное значение	3,65	0,12	0,6	0,14
Отклонение в %	-	33	11,7	14

Проведя анализ полученной информации видно, что суммарное отклонение $T_{\delta 1}$ и $T_{\delta 2}$ выше чем T_y ,

поэтому можно сделать вывод о том техническое состояние двигателя постоянного тока имеет более весомый вклад в общее техническое состояние системы в целом [8]. Значит более рационально и целесообразно провести диагностику именно двигателя постоянного тока.

Для нахождения резонансных частот, построим амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) исследуемой системы (рис. 4).

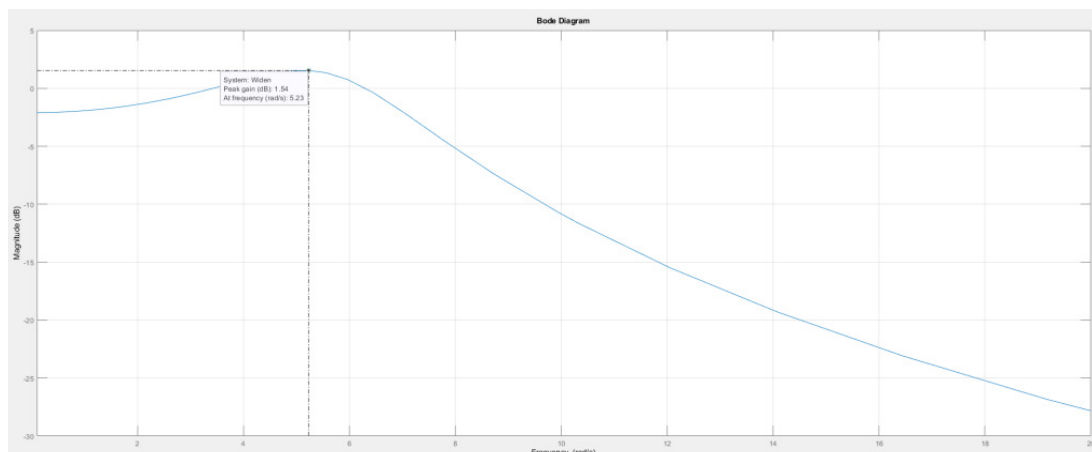


Рисунок 4 – АЧХ линейной стационарной САР скорости ДПТ

В данной системе имеет всего одна резонансная частота. Для предложенной передаточной функции (1) и системы уравнений (2) резонансная частота будет определяться по формуле:

$$\omega = \frac{\sqrt{(-1)(T_{д1}^2 + T_{д2}^2 - 2T_{д1}T_{д2} - 4T_{д1}T_{д2}K_{р.с})}}{2T_{д1}T_{д2}} \quad (4)$$

где, $T_{о1}$ и $T_{о2}$:

$$T_{д1} = \frac{J R_{я}}{C_e C_{н}}, T_{д2} = \frac{L_{я}}{R_{я}} \quad (5)$$

где J – момент инерции, $R_{я}$ – сопротивление якоря, C_e – постоянная скорость двигателя, $C_{н}$ – постоянный момент двигателя, $L_{я}$ – индуктивность якоря.

Подставляем значения (5) в (4), получим зависимость резонансной частоты от технических параметров объекта:

$$\omega = \sqrt{(-1) \left(\frac{J^2 R_{я}^4 + L_{я}^2 C_e^2 C_{н}^2 - 16,6 J R_{я}^2 L_{я} C_e C_{н}}{R_{я}^2 C_e^2 C_{н}^2} \right) \frac{C_e C_{н}}{2 * J * L_{я}}} \quad (6)$$

Из паспортных данных, или проведя замеры и диагностику исследуемого объекта сразу после ввода в эксплуатацию, мы знаем номинальные значения всех технических характеристик двигателя постоянного тока. В нашем случае они составляют $J = 520$ (г·см²), $R_{я} = 0,218$ (Ом), $C_e = 2,57$ (В с/рад), $C_{н} = 0,244$ (кГм/А), $L_{я} = 0,15$ (Гн). Зная, что некоторые параметры объекта в течении времени не подвержены значительному изменению, за константы можно принять C_e и $C_{н}$, тогда уравнение (6) примет вид:

$$\omega = \sqrt{(-1) \left(\frac{J^2 R_{я}^4 + 393229 L_{я}^2 - 10409,53 J R_{я}^2 L_{я}}{393229 R_{я}^2} \right) \frac{627,08}{2 * J * L_{я}}} \quad (7)$$

Полученная система уравнений (7), может иметь большее количество переменных, чем количество уравнений. Такие системы невозможно решить аналитическим методом. Поэтому предлагается метод пробного подключения. Суть метода заключается в изменении некоторых параметров системы на известные величины, и зафиксировать реакцию системы на эти изменения. В данном случае были изменены сопротивления якоря, путем последовательного подключения дополнительных сопротивлений $R_{я1} = 0,1$ Ом. и $R_{я2} = 0,2$ Ом. Значения параметров системы и её новые резонансные частоты составят новую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{д} &= \sqrt{(-1) \left(\frac{J^2 R_{я}^4 + 393229 L_{я}^2 - 10409,53 J R_{я}^2 L_{я}}{393229 R_{я}^2} \right) \frac{627,08}{2 * J * L_{я}}} \\ \omega_{д1} &= \sqrt{(-1) \left(\frac{J^2 (R_{я} + R_{я1})^4 + 393229 L_{я}^2 - 10409,53 J (R_{я} + R_{я1})^2 L_{я}}{393229 (R_{я} + R_{я1})^2} \right) \frac{627,08}{2 * J * L_{я}}} \\ \omega_{д2} &= \sqrt{(-1) \left(\frac{J^2 (R_{я} + R_{я2})^4 + 393229 L_{я}^2 - 10409,53 J (R_{я} + R_{я2})^2 L_{я}}{393229 (R_{я} + R_{я2})^2} \right) \frac{627,08}{2 * J * L_{я}}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где $\omega_{о}$ – резонансная частота САУ скорости ДПТ, $\omega_{о1}$ – резонансная частота САУ скорости ДПТ после подключения $R_{я1}$, $\omega_{о2}$ – резонансная частота САУ скорости ДПТ после подключения $R_{я2}$.

Результаты. Эвристический анализ полученных решений приводит к нахождению значений конструктивных параметров ДПТ: $R_{я} = 0,2$ Ом, $L_{я} = 0,12$ Гн, $J = 376,25$ г·см². Сравнение полученных значений с номинальными значениями (априорных значений,

полученных при вводе в эксплуатацию или по паспортным данным) приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение полученных значений с номинальными значениями

Параметр	$R_{я}$, Ом	$L_{я}$, Гн	J , г·см ²	C_e , В с/рад	$C_{н}$, кГм/А
Номинальное значение	0,218	0,18	520	2,57	0,244
Полученное значение	0,2	0,12	376,25	2,57	0,244
Отклонение в %	8,25	33,3	27,64	-	-

Из приведенной таблицы можно заметить что присутствует значительное изменение параметров диагностируемой системы: отклонение сопротивления якоря на 8,25%, отклонение индуктивности якоря на 33,3%, изменение момента инерции составляет 27,64%, что позволяет диагностировать значительный износ ДПТ.

Очевидно, что такая степень износа приводит к значительному увеличению потребляемых ресурсов данной системы, а так же способно привести к внезапному отказу системы, что приведет к экономическим потерям на простой и ремонт, или может даже полностью нарушить технологическую цепочку производства. В качестве рекомендаций может быть предложен вывод из эксплуатации данного объекта и проведение капитального ремонта, с целью восстановления номинальных значений структурных параметров.

Обсуждение. Теоретические и практические исследования различных систем автоматического регулирования технологических процессов находящихся в эксплуатации в данный момент времени позволяют получить информацию о текущем техническом состоянии диагностируемой системы, а также о влиянии различных параметров самой системы на техническое состояние объекта в целом. Информацию о подобных исследованиях, проводимых в полной мере, обнаружено не было, так как для реализации подобных экспериментов необходимы математические модели и возможности программных комплексов, позволяющие исследовать многосвязные системы и учитывать множественные связи исследуемых параметров друг на друга и техническое состояние объекта в целом.

В материалах, опубликованных ранее [1, 4, 21], в которых предложены математические модели диагностирования объектов, рассматриваются случаи, когда решаемая система уравнений имеет ограниченное количество переменных, либо ограничена количеством уравнений, либо когда в исследуемой системе количество состояний (резонансов) должно точно соответствовать количеству исследуемых переменных объекта.

Компьютерные реализации методов резонансного диагностирования для определения технического состояния объекта, созданных другими авторами, в литературе найти не удалось.

Выводы. Произведена апробация резонансного метода на системе автоматического регулирования

скорости двигателя постоянного тока.

Рассмотренный метод позволил определить числовые значения структурных параметров системы, а также степень их износа.

По полученный данным после проведения диагностики, можно сделать вывод о техническом состоянии исследуемого объекта.

Резонансная диагностика значительно сокращает время получения диагноза о состоянии исследуемой колебательной системы, а также дает более точные и полные данные, которые в дальнейшем можно использовать для прогнозирования отказов.

Анализ полученного диагноза позволяет определить точное отклонение структурных параметров объекта диагностики от их номинальных значений, что является критически важной информацией при проведение ремонтных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Осаулко, Я.Ю. Анализ методов диагностирования автомобильных генераторов по параметрам колебательных процессов / Я.Ю. Осаулко, А.В. Пузаков // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник статей XIII международной научно-практической конференции, Оренбург, 15-17 ноября 2017 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 189-193.

2. S.B. Kadam and S.K. Shrivastava, "Anomaly identification and failure diagnosis," IEEE Int. Conf. on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering. – Pp. 1-4, 2017

3. Zhaohui Du, Xuefeng Chen, Han Zhang, and Ruqiang Yan, "Sparse Feature Identification Based on Union of Redundant Dictionary for Wind Turbine Gearbox Fault Diagnosis," IEEE Transactions on Industrial Electronics. – V. 62. – I. 10. – pp. 6594-6605, 2015

4. K. Renganathan, "Estimation based Fault Diagnosis and identification in sequential Industrial batch processes modeled as Hybrid Petri nets," 2nd Int. Conf. on Computing and Communications Technologies – Pp. 64-68, 2017

5. Ульянов, А.Д. Структурная и параметрическая идентификация процесса разгона гидрогенератора / А.Д. Ульянов // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 28-29 апреля 2014 года / Под редакцией В.З. Зверовщикова, И.И. Воячека, Д.В. Кочеткова. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2014. – С. 77-83.

6. Guanming Yu, Yongqi Chen, Yiming Zhao, and Yang Chen, "Gear fault diagnosis method based on Volterra kernel identification," Chinese Automation Congress. – Pp. 2097-2099, 2015

7. S. Vijayalakshmi Jigajinni, "Simulation of Incipient Fault Detection, Confirmation and Diagnosis Using Kalman Filter," Int. Journal of Science and Research. – V. 3. – Is. 8. – Pp. 1846-1850, 2014.

8. А.Д. Ульянов, В.В. Лузгин. Резонансный метод диагностирования колебательных промышленных объектов. Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2015. – №1 (40). – С. 42-45.

9. Лузгин В.В., Емашов А.В. Прикладные задачи синтеза оптимальных алгоритмов диагностирования аналоговых промышленных объектов. Прикладные задачи синтеза оптимальных алгоритмов диагностирования аналоговых промышленных объектов. – 2017. – №2 (54). – С. 82-90

10. Бирюлев А.Ю. Разработка метода диагностирования цилиндрично-поршневой группы безразборным методом с помощью датчика давления / А.Ю. Бирюлев, А.С. Ащеулов, А.С. Ащеулова // Россия молодая: Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 19-21 апреля 2022 года / Редколлегия: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 52403.1-52403.5.

11. Jialiang Zhang, Jianfu Cao, Jie Wu, and Lin Wang, "Fault Diagnosis for Transmission System of Large Equipment Using Nonlinear Output Frequency Response Function," 10th Int. Conf. on Modelling, Identification and Control, – Pp. 1-2, 2018.

12. Dinghui Wu, Jin Song, and Yanxia Shen, "Variable forgetting factor identification algorithm for fault diagnosis of wind turbines," Chinese Control and Decision Conf. – pp. 1895-1900, 2016.

13. Ульянов А.Д. Прикладной метод исследования промышленного объекта с запаздыванием как объекта диагностики на примере САР гидроагрегата братской ГЭС. Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 1 (29). – С. 70-75.

14. Zhang Y, Jiang W, Deng X. Fault diagnosis method based on time domain weighted data aggregation and information fusion. International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2019. – 15(9). – doi:10.1177/1550147719875629

15. Ma J, Wu J, Wang X. Fault diagnosis method based on wavelet packet-energy entropy and fuzzy kernel extreme learning machine. Advances in Mechanical Engineering. – 2018. – 10(1). – doi:10.1177/1687814017751446

16. Deng W, Yang X, Liu J, Zhao H, Li Z, Yan X. A novel fault analysis and diagnosis method based on combining computational intelligence methods. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering. – 2013. – 227(3):198-210. – doi:10.1177/0954408912459161

17. Ульянов А.Д. Структурная и параметрическая идентификация процесса разгона гидрогенератора со сложным управляющим воздействием / А.Д. Ульянов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 2(46). – С. 105-109.

18. В.В. Лузгин, А.Д. Ульянов. Методы идентификации и диагностики промышленных объектов: монография. – Братск: изд-во БрГУ, 2017. – 146 с.

19. Кадырбекова, К.К. Методы диагностирования типовых разрушений металлических конструкций авиационной техники методом неразрушающего контроля / К.К. Кадырбекова, Д.Д. Хуршудян // Актуальные аспекты развития воздушного транспорта (Авиатранс-2021): Материалы научно-практической конференции с международным участием, Ростов-на-Дону, 20-27 октября 2021 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский филиал федерального бюджетного государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации", 2021. – С. 82-88.

20. Анализ методов и средств диагностирования ДВС энергонасыщенной техники динамическим методом / О.Ф. Савченко, С.Н. Ольшевский, В.В. Альт, И.П. Добролюбов // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы 7-й Международной научно-практической конференции "Агроинфо-2018", Новосибирская обл., р.п. Краснообск, 24-25 октября 2018 года / Сибирский федеральный научный центр агротехнологий Российской академии наук, Сибирский физико-технический институт аграрных проблем и др. – Новосибирская обл., р.п. Краснообск: Сибирский физико-технический институт аграрных проблем, 2018. – С. 408-413.

21. Маслов И.З. Диагностирование судовых технических средств и пути совершенствования методов диагностирования / И.З. Маслов // International Scientific and Practical Conference World science. – 2018. – Т. 1. – № 2(30). – С. 41-45.

Статья поступила в редакцию 28.12.2022

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 517.977
EDN: CJBRGI

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «КОРМА-ЖИВОТНЫЕ-ПРОДУКТИВНОСТЬ» С УЧЕТОМ КИНЕТИКИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

© Автор(ы) 2023
SPIN: 9779-0053
AuthorID: 631591
ORCID: 0000-0003-4444-9945
ScopusID: 57191544067

АКИМОВ Сергей Сергеевич, старший преподаватель
кафедры управления и информатики в технических системах
Оренбургский государственный университет

(460018, Россия, Оренбург, проспект Победы, 13, e-mail: sergey_akimov_work@mail.ru)

SPIN: 7705-8454
AuthorID: 531401
ORCID: 0000-0003-2824-2215
ScopusID: 57202982065

БОРОВСКИЙ Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах
Оренбургский государственный университет

(460018, Россия, Оренбург, проспект Победы, 13, e-mail: sergey_akimov_work@mail.ru)

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема повышения продуктивности молочного животноводства, которая является достаточно актуальной ввиду той роли, которую играет молочное животноводство в продовольственной безопасности нашей страны. Цель работы – разработка комплексной формализованной модели системы «корма-животные-продуктивность» с учетом кинетики микроэлементов, а также структура ее управления. В работе предлагается регулирование микроэлементного состава питания и организма животных. Для оценки поступления микроэлементов использованы методы математической формализации баланса элементов. Для оценки взаимной зависимости использованы нелинейные регрессионные модели в виде полинома второго порядка, а для расчета коэффициентов – метод множителей Лагранжа. Математическая формализация задачи позволила получить модель обобщенной продуктивности молочного животноводства, определено аддитивное соотношение для оценки состава микроэлементов, в том числе и в динамической интерпретации, а также получена окончательная зависимость продуктивности от микроэлементного состава. Оценка непищевого поступления и выбытия микроэлементов оценена экспериментальным путем. Для реализации разработанной модели составлен алгоритм оценки продуктивности на основе микроэлементного статуса. Приведение общего алгоритма взаимодействия разноформатных данных на итоговую продуктивность позволило разработать систему поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства.

Ключевые слова: продуктивность молочного животноводства, модель оценки, алгоритм оценки, система поддержки принятия решений, микроэлементный статус, кормовой баланс.

DECISION SUPPORT METHODS FOR DAIRY FARMING MANAGEMENT

© The Author(s) 2023

AKIMOV Sergey Sergeevich, senior lecturer department of
Management and Computer Science in Technical Systems

BOROVSKY Alexander Sergeevich, doctor of technical sciences, professor
head of the department of Control and Informatics in Technical Systems
Orenburg State University

(460018, Russia, Orenburg, Pobedy Avenue, 13, e-mail: sergey_akimov_work@mail.ru)

Abstract. This article discusses the problem of increasing the productivity of dairy farming, which is quite relevant due to the role played by dairy farming in the food security of our country. The purpose of the work is to develop a comprehensive formalized model of the "feed-animals-productivity" system, taking into account the kinetics of microelements, as well as the structure of its management. The paper proposes the regulation of the microelement composition of nutrition and the body of animals. To assess the intake of microelements, methods of mathematical formalization of the balance of elements were used. To assess the mutual dependence, non-linear regression models in the form of a second-order polynomial were used, and to calculate the coefficients, the Lagrange multiplier method was used. The mathematical formalization of the problem made it possible to obtain a model of the generalized productivity of dairy farming, an additive ratio was determined to assess the composition of microelements, including in dynamic interpretation, and the final dependence of productivity on the microelement composition was obtained. Estimation of non-food intake and disposal of microelements was estimated experimentally. To implement the developed model, an algorithm

for evaluating productivity based on microelement status has been compiled. Bringing a general algorithm for the interaction of different format data on the final productivity made it possible to develop a decision support system to increase the productivity of dairy farming.

Keywords: dairy farming productivity, evaluation model, evaluation algorithm, decision support system, trace element status, feed balance.

Для цитирования: Акимов С.С. Разработка модели системы «корма-животные-продуктивность» с учетом кинетики микроэлементов / С.С. Акимов, А.С. Боровский // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 53-58. – EDN: CJBIRGI.

Введение. На сегодняшний день одной из ключевых задач управления, вне зависимости от отрасли, является получение максимального эффекта, выраженного через показатели продуктивности, путем управляемого воздействия на те или иные факторы производящей системы. Выявление наиболее важных факторов управления и грамотное их использование позволяет получать максимальный эффект от имеющихся ресурсов.

Актуальность темы исследования заключается в роли сельского хозяйства в экономике нашей страны, причем, одной из важнейших отраслей данной отрасли является молочное животноводство [1]. Данная отрасль характеризуется длительной продолжительностью производственного цикла и низким уровнем приспособленности к условиям рынка [2], однако является ключевой с точки зрения продовольственной безопасности России [3]. Функциональные проблемы отрасли носят системный характер, поэтому их решение возможно только с применением новейших методов управления. В молочном животноводстве подобные методы должны основываться на комплексном изучении факторного воздействия на продуктивность, методологией для которых выступает математическое моделирование, и дальнейшая реализация полученных моделей в виде программных продуктов или систем поддержки принятия решений [4].

Основной проблематики управления в рассматриваемой отрасли является бессистемность оперативной оценки показателей, описывающих конкретные характеристики состояния животных. Указанные показатели нуждаются в анализе и корректировке для достижения высокой эффективности работы предприятий молочной отрасли и продуктивности самих животных. Важнейшим аспектом поставленной задачи является то, что все показатели, собираемые в молочной отрасли, имеют различную природу, формат и принадлежность, что является сильным затруднением для их сопоставления.

В настоящее время для оценки внутреннего состояния различных живых организмов зачастую используют оценку состава показателей микроэлементов. Данный состав, как правило, определяется набором из 25-и элементов, оказывающих существенное влияние на организм [5]. Например, микроэлементный состав растительного царства в значительной степени влияет на рост и развитие стеблей и листьев [6], состав кормов животных

оказывает заметное влияние как на метаболизм и его нагрузку [7], так и на пищеварительные процессы [8], микроэлементный состав организма животного является ключевым комплексным показателем как уровня здоровья, так и производительности конкретного животного [9].

Необходимо, также, отметить, что рассматриваемый микроэлементный состав, являясь индивидуальным показателем, оказывает существенное влияние на совокупную продуктивность стада [10]. Разумеется, микроэлементный состав не является единственным показателем, оказывающим подобное влияние: к таковым можно отнести генетические факторы, нормы содержания и питания, порода и возраст и т.д. [11]. Для более объективной оценки существуют специализированные методики кластеризации животных [12].

Таким образом, микроэлементный состав, с одной стороны, может являться индикатором состояния (и, как следствие продуктивности) системы «корма-животные-продуктивность», а с другой относительно прост с точки зрения оперативного сбора данных и мониторинга для оценки и прогнозирования продуктивности. Указанные обстоятельства делают микроэлементный состав необходимой характеристикой при проектировании и реализации системы управления продуктивностью молочного животноводства [13].

Под продуктивностью понимается абсолютное производство молока на каждое животное. Продуктивность зависит от состояния животных и кормовой базы, и выражается через микроэлементный состав биосубстратов животных. Целью любого молочного хозяйства является получение максимальной продуктивности. Можно предположить, что существует такой микроэлементный состав системы «корма-животные-продуктивность», при котором продуктивность молочного скота является максимальной [14].

Кормовая база представляется набором кормовых культур и включает кормовые добавки [15]. Микроэлементный состав корма измерим, состав добавок известен, и это может быть использовано для корректировки питания и регулирования микроэлементов в организме.

Таким образом, задача повышения производительности сводится к многокритериальной задаче оптимизации микроэлементного состава. В поставленной многокритериальной задаче функция

полезности содержит как внутренние, так и внешние переменные, поэтому оптимизация процесса регулирования микроэлементного состава может предполагать использование системы математических моделей [16].

Моделированием в области животноводства занимались многие исследователи. Г.А. Волкова в своей работе [17] рассматривает вопросы рационального применения методов экономико-математического моделирования при планировании развития молочного скотоводства. А.М. Козина, О.Д. Притула, Л.П. Семкив [18] на основе многомерного кластерного анализа оценивают эффективность управления молочным животноводством. Н.В. Спешилова, М.А. Древина, Р.Н. Абдулгазизов [19] рассматривают формирование кормового рациона скота используя оптимизационное моделирование, найдя зависимость между рационом и производительностью молочного животноводства. С.А. Мирошников с соавт. [20] приводят модели минерального обмена в организме животных, определяя взаимосвязи между микроэлементным статусом животного и его продуктивностью.

Анализ исследований различных авторов позволил выявить, что большая часть моделей, предлагаемая в работах, приводится в стационарном виде, без учета изменений показателей во времени, что не отражает реальную действительность. В некоторых работах продуктивность молочного животноводства оценивается только с точки зрения нерегулируемых процессов, что не позволяет их использовать для нужд управления. Разработка подобной комплексной модели может быть реализована для целей управления, при этом, для упрощения ее использования необходимо также создать систему поддержки принятия решений для продуктивности молочного животноводства.

Таким образом, цель данной работы – разработка комплексной формализованной модели системы «корма-животные-продуктивность» с учетом кинетики микроэлементов, а также структура ее управления.

Методология. В проведенном обзоре привелись балансовые модели оценки продуктивности животных, однако они, как правило, основываются на балансе питания. В данной работе предлагается регулирование микроэлементного состава питания и организма животных. Для оценки поступления микроэлементов использованы методы математической формализации баланса элементов. Для оценки взаимной зависимости использованы регрессионные модели, а для расчета коэффициентов – метод множителей Лагранжа.

Задача построения модели управления нуждается в формализации.

Пусть $J = \{j_1, j_2, \dots, j_a\}$ – число видов кормовых культур, употребляемых в пищу животными. Корректировка элементов, попадающих в организм животных совместно с пищей, может быть осу-

ществлена посредством использования различных кормовых добавок (G).

Пусть $G = \{g_1, g_2, \dots, g_p\}$ – различные варианты кормовых добавок. Состав комбикормов для питания животных зависит от определенных культур $j \in J$ и кормовых добавок $g^k \in G$, которые, в свою очередь, также являются элементами управления процесса формирования комбинированных кормов.

Пусть $W = \{w_1, w_2, \dots, w_r\}$ – различные группы молочного скота, распределяемые по таким параметрам, как порода, возраст и пр. Общая продуктивность молочного животноводства Z конкретной группы $w^h \in W$, может быть оценена как функция L , учитывающая обеспеченность животных комбикормами определенного состава. Тогда зависимость продуктивности молочного животноводства от групп животных и состава комбикормов будет иметь следующий вид:

$$Z = L(j, g^k, w^h) \rightarrow \max. \quad (1)$$

При такой постановке задачи возникает проблема комплексирования информации поскольку корма, добавки и группы молочного скота измеряются в различных единицах и шкалах. Однако если представить весь процесс как движение микроэлементов, то данная проблема может быть успешно решена.

Пусть $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{25}\}$ – 25 ключевых микроэлементов, тогда $v_i^j \in V^j$ – определенный i -ый элемент в корме $j \in J$, $v_i^g \in V^g$ – определенный i -ый элемент в добавке $g \in G$, $v_i^w \in V^w$ – определенный i -ый элемент в определенной группе молочного скота w .

Обмен веществ происходит в организме животного, и, при грубом приближении, заключается в поступлении и выбытии различных веществ. Вещества содержат различные химические элементы, в том числе ключевые микроэлементы, определяющие продуктивность молочного животноводства. Тогда модель продуктивности сводится к динамике поступлений и выбытий веществ и микроэлементов в организм животных.

Пусть существует некий состав микроэлементов V^{wh} в организме животных конкретной группы $w^h \in W$, при котором продуктивность $Z \rightarrow \max$. Тогда соотношение (1) можно привести к виду:

$$Z = L(V^{wh}) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Состав микроэлементов V^{wh} может быть выражен определенным аддитивным соотношением:

$$V^{wh} = V^{w_0} + V^j + V^g + V^c - V^p, \quad (3)$$

где V^{w_0} – это микроэлементный состав организма в группе животных до поступления туда веществ;

V^j – это микроэлементы, поступающие в организм животных совместно с кормами;

V^g – это микроэлементы, поступающие в организм животных совместно с кормовыми добавками;

V^c – это микроэлементы, поступление которых в организм не связано с питанием;

V^p – это выбытие микроэлементов из организма по всем причинам.

Отметим, что количество микроэлементов, пос-

тупление которых в организм не связано с питанием V^c и выбытие микроэлементов из организма по всем причинам считаются величинами постоянными V^p для определенной группы животных.

Приведенное соотношение выражено для стационарной системы. Отображение ее в динамике приведет к следующей интерпретации:

$$V^{nh}(t) = V^{nh}(t-1) + V^j(t) + V^z(t) + V^c - V^p. \quad (4)$$

Окончательная зависимость продуктивности от микроэлементного состава:

$$Z(t) = L(V^{nh}(t-1) + V^j(t) + V^z(t) + V^c - V^p) \rightarrow \max. \quad (5)$$

Таким образом, разработанная модель позволяет комплексировать разнородные и разноформатные данные, среди которых можно выделить видовые особенности кормовых культур, добавок, непищевые факторы, а также различные показатели,

характеризующие особенности животных.

Функцию L определена при помощи уравнений нелинейной регрессии (полином второй степени), на основе статистических данных о продуктивности и микроэлементном статусе животных. Оценку непищевого поступления и выбытия микроэлементов можно оценить экспериментальным путем.

Результаты. Для реализации разработанной модели составим алгоритм оценки продуктивности на основе микроэлементного статуса (рис. 1).

Приведение общего алгоритма взаимодействия разноформатных данных на итоговую продуктивность позволяет разработать систему поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства. Блок-схема системы поддержки принятия решений приведена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Обобщенная схема оценки продуктивности молочного животноводства на основе микроэлементного статуса

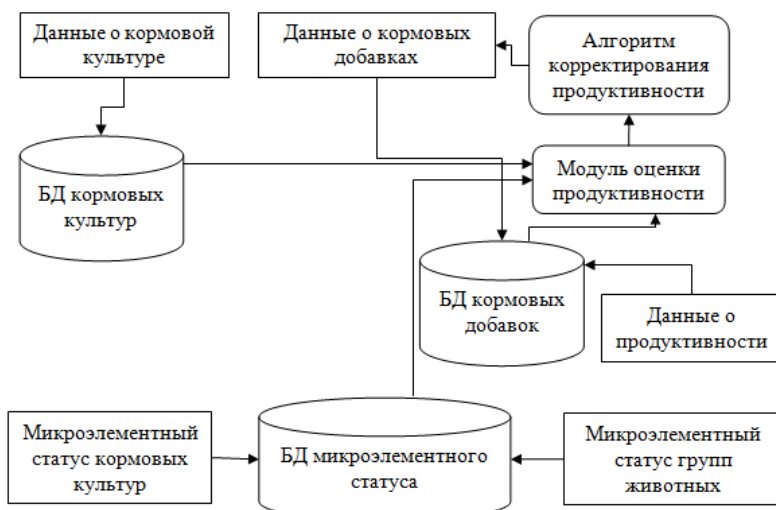


Рисунок 2 – Схема системы поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства

Обсуждение. В предложенной системе поддержки принятия решений поступающими данными являются показатели продуктивности, а также данные о кормовой базе и пищевых добавках для животных. Кроме указанного, в систему вводятся данные, касающиеся микроэлементного статуса кормовой базы и организмов животных. Накопление указанных данных проводится в трех базах данных, из которых все данные могут быть задействованы в модуле оценки продуктивности. После оценки продуктивности разработанный алгоритм корректирования продуктивности позволяет посредством управляющего воздействия внести изменение в состав кормовых добавок, что позволяет оперативно улучшить показатели производства.

Поскольку проведенный анализ исследований показал, что значительная часть моделей приведена в стационарном виде, то разработанная система учитывает временные изменения, отображая накопление и выбытие микроэлементов из организма животных.

Подобные формулы позволяют оперативно оценивать изменение микроэлементного баланса животных и корректировать его, что положительно сказывается на молочной продуктивности.

Выводы. На основе обзора и анализа литературных источников сформирована концепция оценки продуктивности молочного животноводства посредством комплексирования разнообразных и разноформатных данных, относимых к различным элементам системы «корма-животное-продуктивность», что позволяет максимально эффективно управлять продуктивностью молочного животноводства.

На основе разработанной концепции разработана математическая модель оценки продуктивности, главной особенностью которой является оценка в кормовой базе и организме животных микроэлементного статуса, который, в свою очередь является главным индикатором обмена веществ, что напрямую влияет на продуктивность животноводства. Данное обстоятельство позволило сформулировать и получить важный метод оценки продуктивности.

На основе полученной математической модели сформирован алгоритм оценки продуктивности молочного животноводства на основе микроэлементного статуса, что позволяет разбить метод оценки продуктивности на конкретные и четкие шаги.

На основе алгоритма оценки продуктивности разработана и реализована система поддержки принятия решений, которая позволяет оперативно отслеживать изменения продуктивности молочного животноводства и вносить определенные коррективы в процесс управления молочным животноводческим хозяйством.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шахназарян Г.Э. Молочное скотоводство России: проблемы, пути их преодоления // Региональная экономика: теория и практика. – 2018. – Т. 16. – № 7. – С. 1303-1319.

2. Болодурина И.П. Разработка системы поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства / И.П. Болодурина, С.А. Соловьев, С.С. Акимов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. – Т. 20. – № 2. – С. 36-44.

3. Маринченко, Т.Е. Перспективные разработки в области молочного скотоводства / Т.Е. Маринченко // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2(38). – С. 124-129.

4. Разработка модели электронной информационной среды управления сельскохозяйственным предприятием молочного животноводства / О.А. Коваленко, А.В. Глушенко, И.Ф. Горлов, Д.А. Мосолова // Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий: Материалы международной научно-практической конференции, Волгоград, 17-18 июня 2021 года / Под общей редакцией И.Ф. Горлова. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью "СФЕРА", 2021. – С. 35-42.

5. Анализ препаратов на основе наночастиц микроэлементов, применяемых в животноводстве и ветеринарии / П.А. Красочко, Т.И. Лебедева, И.А. Красочко [и др.] // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2021. – Т. 10. – № 1. – С. 92-99.

6. Стальная М.И. Исследование элементного состава растений / М.И. Стальная // Новые технологии. – 2007. – №3. – С. 91-94.

7. Перспективный способ восполнения жизненно-важных микроэлементов в кормовых травах / С.П. Замана, Л.И. Бойценюк, О.А. Сорокина, Е.П. Ананичева // Московский экономический журнал. – 2021. – № 2. – С. 20-24.

8. Левахин Г.И. Химический состав и переваримость высокоэнергетических кормовых добавок / Г.И. Левахин, Г.К. Дускаев, Б.С. Нуржанов, В.А. Рязанов, И.С. Мирошников, А.Ф. Рысаев // Животноводство и кормопроизводство. – 2015. – №4 (92). – С. 115-119.

9. Акимов С.С. Моделирование продуктивности хозяйства молочного животноводства / С.С. Акимов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2022. – № 1. – С. 25-32.

10. Некрасов Д. Влияние отдельных факторов на пожизненную продуктивность коров / Д. Некрасов, А. Колганов // Молочное и мясное скотоводство. – 2006. – №5. – С. 28-31.

11. Анищенко А.Н. О направлениях активизации инновационных процессов в молочном скотоводстве региона / А.Н. Анищенко // Проблемы развития территории. – 2017. – №2 (88). – С. 192-206.

12. Акимов С.С. Построение СППР на основе онтологии молочного производства / С.С. Акимов, И.П. Болодурина // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11. – № 1(39). – С. 64-75.

13. Тихомиров И.А. Повышение эффективности использования кормовых ресурсов в системе технологической модернизации молочного скотоводства / И.А. Тихомиров, В.К. Скоркин // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 1(29). – С. 66-73.

14. Умаханов М.А. Роль микроэлементов в жизни растений и животных / М.А. Умаханов // Селекционно-генетические аспекты развития молочного скотоводства: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященная 90-летию со дня рождения видного государственного и политического деятеля Ш.И. Шихсаидова, Махачкала, 04-05 июля 2019 года. – Махачкала: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», 2019. – С. 335-342.

15. Акимов С.С. Оценка эффективности кормового производства на основе факторов посева и предпосевной подготовки / С.С. Акимов, И.П. Болодурина // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 7. – С. 9-13.

16. Иванов Ю.А. Цифровая молочная ферма на 400 коров / Ю.А. Иванов, В.К. Скоркин, Д.К. Ларкин // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 1. – С. 7-13.

17. Волкова Г.А. Использование методов математического моделирования при планировании развития молочного скотоводства / Г.А. Волкова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – №3 (11).

– С. 35-39.

18. Козина А.М. Оценка эффективности управления отраслью молочного скотоводства с использованием многомерного анализа / А.М. Козина, О.Д. Притула, Л.П. Семкив // Научные известия. – 2016. – №5. – С.21-28.

19. Спешилова Н.В. Формирование кормового рациона скота на основе оптимизационного моделирования / Н.В. Спешилова, М.А. Древина, Р.Н. Абдулгазизов // Сб. научных трудов по материалам междунар. научно-практич. конф. «Вопросы образования и науки в XXI веке». – Тамбов: Издательство ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 134-140.

20. Мирошников С.А. Феномен нагруженного метаболизма и продуктивность молочных коров / С.А. Мирошников, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов, М.Я. Курилкина // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т 102. – №2. – С. 30-45.

Статья поступила в редакцию 16.12.2022

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК: 681.5 (661.188.32:637.142)

EDN: CKJFBX

РАЗРАБОТКА SCADA-ПРОЕКТА ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СГУЩЕННОГО МОЛОКА

© Автор(ы) 2023

SPIN: 5147-2676

AuthorID: 279181

ORCID: 0000-0003-3035-0354

ResearcherID: F-1784-2014

ScopusID: 57190973304

БОРОДУЛИН Дмитрий Михайлович, доктор технических наук,
директор Института инженерных технологий
Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: borodulin_dmitri@list.ru)

SPIN: 6276-9754

AuthorID: 430602

ORCID: 0000-0002-9503-1349

ResearcherID: AEM-0268-2022

ScopusID: 57217050130

САФОНОВА Елена Александровна, кандидат технических наук,
доцент кафедры Инженерного дизайна
Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: safonova.kem@yandex.ru)

SPIN: 8678-8145

AuthorID: 979867

ORCID: 0000-0001-6664-5547

ПОТАПОВА Марина Николаевна, кандидат технических наук,
доцент кафедры Инженерного дизайна
Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: potap-1962@list.ru)

Аннотация. Одним из основных компонентов систем автоматизации производства являются средства человеко-машинного интерфейса. Результативность работы предприятия частично зависит от скорости выполнения перечня задач, решение которых необходимо предусмотреть на диспетчерском уровне автоматизации: сокращение времени на принятие решения персоналом; оповещение об опасности и нарушениях, а также предотвращение аварийных и нештатных ситуаций; хранение и архивация данных о протекании процесса, необходимые для составления отчетов, применяемых для расследований причин возникновения любой аварийной ситуации. Целью данной работы является разработка SCADA-проекта, обеспечивающего человеко-машинный интерфейс между оператором и автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) выпаривания в производстве сгущенного молока. Данная АСУ ТП предназначена для решения задач контроля, защиты, сигнализации, автоматического регулирования основных и вспомогательных технологических параметров объекта. Для разработки SCADA-проекта была выбрана система TRACE MODE 6.0 фирмы AdAstra, особенностью которой является технология единой линии программирования, то есть возможность разработки всех модулей АСУ при помощи одного инструмента. Произведя подсчет всех типов сигналов, используемых на контроллерном уровне АСУ ТП, было определено количество выходов каждого типа. В результате в данном проекте АСУ ТП предполагается использование двух основных операторских станций, предназначенных для рабочих мест операторов и одной резервной, которая используется в аварийных ситуациях. В редакторе представления данных реализована группировка экранов, исходя из их функционального назначения. В результате разработанный SCADA-проект позволил усовершенствовать рабочее место оператора вакуум-выпарной установки в производстве сгущенного молока, обеспечив человеко-машинный интерфейс между оператором и автоматизированной системой управления технологическим процессом. Кроме того, система сигнализации автоматической сигнализации позволяет снизить количество брака продукции, и, соответственно, повысить выпуск и снизить себестоимость продукции на единицу сырья.

Ключевые слова: сгущенное молоко, автоматизация, молоко, выпаривание, машинный интерфейс.

DEVELOPMENT OF THE SCADA-PROJECT OF THE EVAPORATION PROCESS IN THE PRODUCTION OF CONDENSED MILK

© The Author(s) 2023

BORODULIN Dmitry Mikhailovich, doctor of technical sciences,
director of the Institute of Engineering Technologies

SAFONOVA Elena Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Engineering design
POTAPOVA Marina Nikolaevna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Engineering design
Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya street, 6,

e-mails: borodulin_dmitri@list.ru, safonova.kem@yandex.ru, potap-1962@list.ru)

Abstract. One of the main components of production automation systems is the means of the human-machine interface. The efficiency of the enterprise partially depends on the speed of the list of tasks, the solution of which must be provided at the dispatching level of automation: reduction of the time for making a decision by the personnel; notification of danger and violations, as well as prevention of emergency and emergency situations; storage and archiving of process data necessary for the preparation of reports used to investigate the causes of any emergency. The purpose of this work is to develop a SCADA project that provides a man-machine interface between the operator and the automated process control system of evaporation in the production of condensed milk. This automated process control system is designed to solve the tasks of monitoring, protection, alarm, automatic regulation of the main and auxiliary process parameters of the facility. For the development of the SCADA project, the TRACE MODE 6.0 system from AdAstrA was chosen, a feature of which is the technology of a single programming line, that is, the ability to develop all ACS modules using one tool. Counting all types of signals used at the APCS controller level, the number of outputs of each type was determined. As a result, this automated process control system design assumes the use of two main control stations designed for operator workstations and one standby one, which is used in emergency situations. The Data View Editor presents the grouping of screens based on their functional purpose. As a result, the developed SCADA project made it possible to improve the workplace of the vacuum evaporator operator in the production of condensed milk by providing a man-machine interface between the operator and the automated process control system. In addition, the automatic alarm system allows you to reduce the amount of product scrap, and, accordingly, increase the output and reduce the cost of production per unit of raw material.

Keywords: condensed milk, automation, milk, evaporation, machine interface.

Для цитирования: Бородулин Д.М. Разработка SCADA-проекта процесса выпаривания в производстве сгущенного молока / Д.М. Бородулин, Е.А. Сафонова, М.Н. Потапова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 59-65. – EDN: CKJFBX.

Введение. Одним из важных компонентов систем автоматизации производства являются средства человеко-машинного интерфейса [1-10]. Результативность работы предприятия частично зависит от скорости выполнения перечня задач, решение которых необходимо предусмотреть на диспетчерском уровне автоматизации. В работе рассмотрен интерфейс, направленный на совершенствование рабочего места оператора. В данном случае задачами автоматизации являются сокращение времени на принятие решения сотрудником, оповещение об опасности и нарушениях, предотвращение аварийных ситуаций, хранение и архивация данных о протекании процесса, необходимые для составления отчетов, применяемых для расследований причин возникновения нештатных ситуаций [11-21].

Целью работы является разработка SCADA-проекта, обеспечивающего человеко-машинный интерфейс (HMI) между оператором и автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) выпаривания в производстве сгущенного молока. Данная АСУ ТП предназначена для решения задач контроля, защиты, сигнализации, автоматического регулирования основных и вспомогательных технологических параметров объекта.

Методология. В настоящее время существует множество SCADA-систем, реализующих задачи верхнего уровня АСУ ТП. Данные типы программ

специализируются на той или иной функции, могут использовать различные методы реализации одной и той же функции. При сравнительной оценке данных систем можно рассматривать следующие их параметры: качество документации; техническая поддержка; открытость и масштабируемость; функциональность; надежность; эффективность; стоимость. Для разработки SCADA-проекта процесса выпаривания в производстве сгущенного молока была выбрана система TRACE MODE 6.0 фирмы AdAstrA, которая обладает лучшим сочетанием пакета возможностей, надежности и эффективности, имеющихся на российском рынке. Это интегрированная SCADA/HMI-SOFTLOGIC-MES-EAM-HRM-система для разработки АСУ ТП и систем управления производством. Данный программный комплекс отличается возможностью разработки распределенной АСУ ТП, в которой связанные между собой сетями технические средства и компьютеры программируются одним инструментом. При этом для каждого технического средства или персонального компьютера разрабатывается отдельный узел с описанием способа подключения к общей сети. Для каждого узла создается отдельная база каналов, в которой доступно обращение к базам каналов других узлов. Таким образом, формируется единая распределенная база каналов реального времени. Если в конкретном узле предполагается визуализация

технологического процесса, то помимо базы каналов для него создается графическая часть, которая состоит из набора экранных форм с возможностью их группировки по каким-либо признакам.

Требования к информационным функциям автоматизированной системы управления технологическим процессом выпаривания молока [22-24] и системам автоматического регулирования представлены в таблицах 1, 2. Переменные представляются на экране монитора автоматизированного рабочего

места (АРМ) оператора в цифровом и графическом виде.

Технологическая схема процесса выпаривания в производстве сгущенного молока, включающая двухкорпусную вакуум-выпарную установку, показана на рисунке 1. Условные обозначения оборудования и материальных потоков схемы представлены в таблице 3. В качестве объекта регулирования выбран участок изменения плотности готового продукта после паротделителя (рис. 2) [25].

Таблица 1 – Требования к функциям контроля

№ п/п	Наименование контролируемой технологической переменной	Диапазон изменения, абс. ед.	Точность контроля, абс. ед.
1	Расход исходного молока	1 – 25, т/ч	$\pm 0,25 / \pm 0,5$, т/ч
2	Давление греющего пара перед эжектором	0,8-1, МПа	$\pm 1 / \pm 36$, кПа
3	Давление охлаждающей воды перед поверхностным конденсатором	0,13-0,17, МПа	$\pm 1 / \pm 36$, кПа
4	Разрежение на конденсаторе	0,08-0,095, МПа	$\pm 1 / \pm 36$, кПа
5	Температура охлаждающей воды перед конденсатором	18-200, °С	$\pm 1 / \pm 2$, °С
6	Температура пара в первом сепараторе	67-690, °С	$\pm 1 / \pm 2$, °С
7	Температура пара во втором сепараторе	49-510, °С	$\pm 1 / \pm 2$, °С
8	Температура пара в первом калоризаторе	84-860, °С	$\pm 1 / \pm 2$, °С
9	Температура пара во втором калоризаторе	67-690, °С	$\pm 1 / \pm 2$, °С
10	Уровень кипящего продукта в паротделителях	0-35, %	$\pm 1 / \pm 2$, С
11	Уровень кипящего продукта в испарителях	0-90, %	$\pm 0,9 / \pm 1,8$, %
12	Плотность готового продукта	1,2-1,3, г/см ³	$\pm 0,05 / \pm 0,1$, г/см ³

Таблица 2 – Требования к системам автоматического регулирования

№ п/п	Наименование регулируемой переменной	Заданное значение, $Y_{здн}$	Допустимые значения прямых показателей качества			
			ошибка статистическая, $Y_{ст}^d$	ошибка динамическая, $Y_{дин}^d$	время регулирования, t_p	запас устойчивости, ψ^d
1	Температура молока после подогревателей	105, °С	± 1 , °С	± 4 , °С	15, мин	$> 0,75$
2	Расход исходного молока	25, т/ч	$\pm 0,25$, т/ч	± 1 , т/ч	1, мин	$> 0,75$
3	Плотность готового продукта	1,3, г/см ³	$\pm 0,25$, %	± 1 , %	20, мин	$> 0,75$
4	Расход пара перед двухступенчатым эжектором	16, т/ч	± 16 , т/ч	± 1 , т/ч	1, мин	$> 0,75$
5	Расход холодной воды перед поверхностным конденсатором	12, т/ч	$\pm 0,12$, т/ч	± 1 , т/ч	1, мин	$> 0,75$

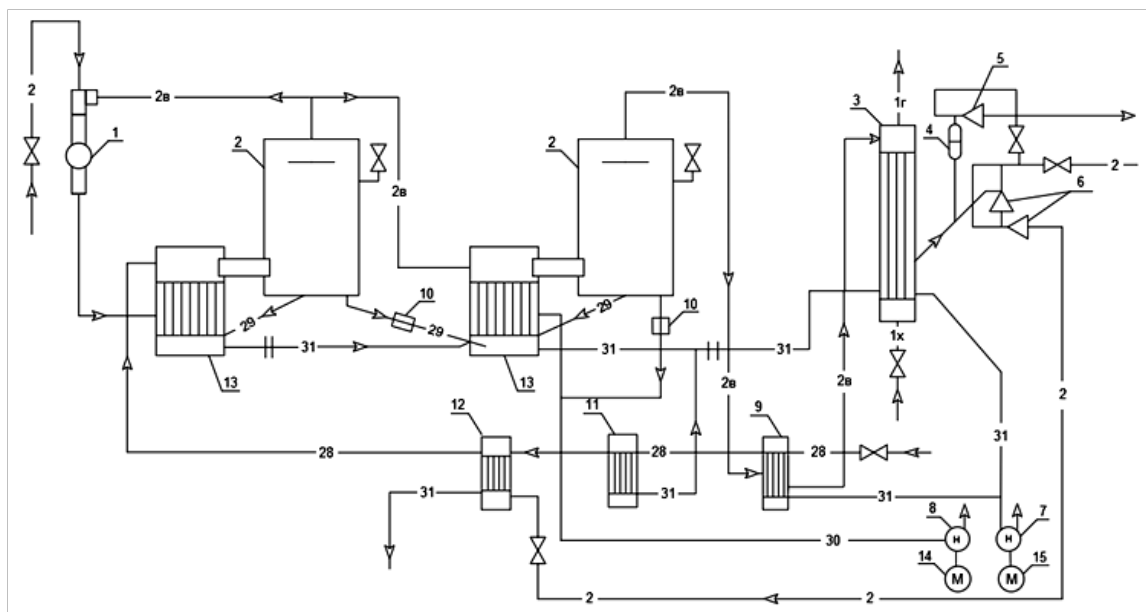


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса выпаривания в производстве сгущенного молока

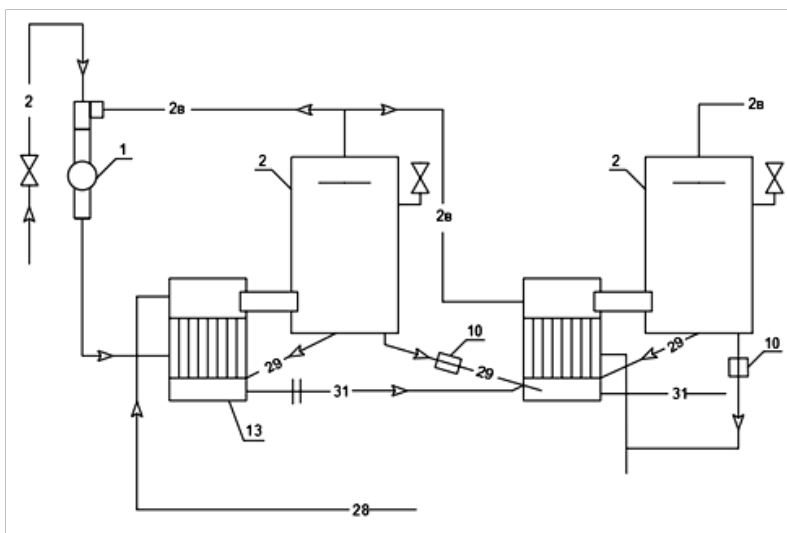


Рисунок 2 – Участок процесса, выбранный как объект автоматизации

Таблица 3 – Условные обозначения оборудования и материальных потоков схемы

Позиция оборудования	Наименование оборудования	Обозначение материального потока	Материальный поток
1	Инжектор	1х	холодная вода
2	Пароотделитель	1г	горячая вода
3	Поверхностный конденсатор	2	пар (первичный)
4	Шибер	2в	вторичный пар
5	Пусковой эжектор	28	молоко
6	Двухступенчатый эжектор	29	частично подгущенное молоко
7	Вакуум-насос для откачивания конденсата	30	сгущенное молоко
8	Вакуум-насос для откачивания сгущенного молока	31	конденсат
9	Подогреватель первой ступени		
10	Дроссельный клапан для откачивания сгущенного молока		
11	Подогреватель второй ступени		
12	Подогреватель третьей ступени		
13	Испарители		
14, 15	Двигатели		

Результаты. Произведя подсчёт всех типов сигналов, используемых на контроллерном уровне АСУ ТП, было определено количество выходов каждого типа:

- аналоговый ввод (AI) для термосопротивлений – 6 шт.;
- аналоговый вывод (AO) для сигнала 4-20 мА – 18 шт.;
- дискретный ввод (DI) – 2 шт.;
- дискретный вывод (DO) – 12 шт.

Обеспечить регулирование, контроль, регистрацию процесса производства сгущенного молока позволит программируемый логический контроллер *MIF-PPC*, удовлетворяющее условиям эксплуатации. Данное устройство позволяет подключить до 3 различных модулей ввода-вывода. Проведя анализ модулей контроллера *MIF-PPC* и количества сигналов ввода и вывода, были выбраны следующие модули:

– 1 модуль *MIRage-FPT* и 1 submodule *PB-RS485T* для подключения до 8 термометров сопротивления;

– 3 БПИ *TFCUR* и 3 submodule *PB-V35T* для подключения до 8 датчиков с унифицированным токовым сигналом 4-20 мА;

– 1 БПИ *TFDIN3* и 1 submodule *PB-DIN3T* для подключения до 20 дискретных сигналов;

– 1 БПИ *TFDOUT2* и 1 submodule *PB-D016T* для подключения до 16-ти дискретных управляющих сигналов с выходным напряжением 24В.

На диспетчерском уровне автоматизации необходимо предусмотреть решение всего спектра задач оператора и их точное выполнение с автоматизированного рабочего места. Для каждого из участков необходима общая форма, обеспечивающая связь с дополнительными формами, отвечающих за работу отдельных аппаратов и систем регулирования. Были определены следующие формы:

- форма 1: пароотделитель, испаритель, инжектор;
- форма 2: пароотделитель, испаритель;
- форма 3: пусковой эжектор, двухступенчатый эжектор, поверхностный конденсатор;
- форма 4: подогреватели первой, второй и третьей

ступеней.

При выполнении SCADA-проекта рассматриваемого процесса разработана схема взаимодействия экранных форм (рис. 3).

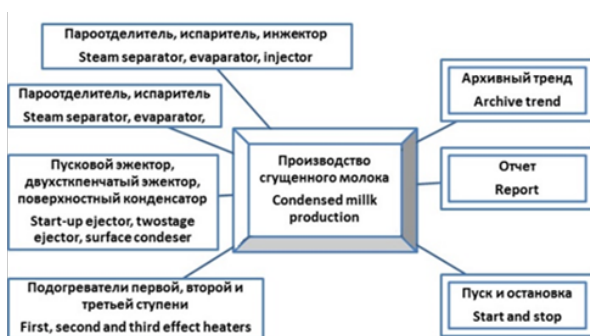


Рисунок 3 – Схема взаимодействия экранных форм разрабатываемого узла

Для рационального управления участками помимо связей, указанных на рисунке 3, в пределах каждого из них предусматривается возможность

перехода между всеми локальными формами.

Обсуждение. В результате в данном проекте АСУ ТП предполагается использование двух основных операторских станций и одной резервной. Для этого в редакторе базы каналов SCADA – системе TRACE MODE 6.0 разработано три АРМ большой мощности. Два из них предназначены для рабочих мест операторов, а один является резервным, для использования в аварийных ситуациях. Для архивирования данных, поступающих от контроллеров и с рабочих мест оператора, создан узел глобального регистратора. Для контроллеров нижнего уровня предусмотрены три узла малой мощности.

Поскольку все экраны в графических базах TRACE MODE собраны в группы, в редакторе представления данных реализована группировка экранов, исходя из их функционального назначения. В результате разработки проекта были сформированы запланированные экранные формы, которые представлены на рисунках 4-8.

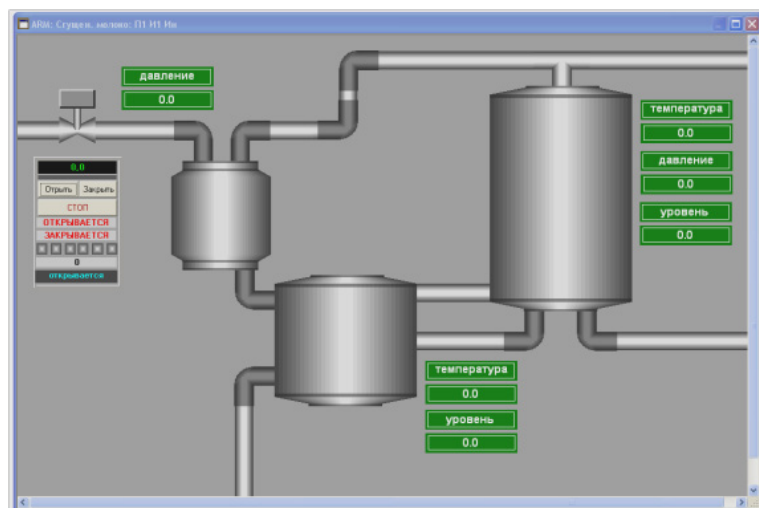


Рисунок 4 – Экранная форма 1 (пароотделитель, испаритель, инжектор)

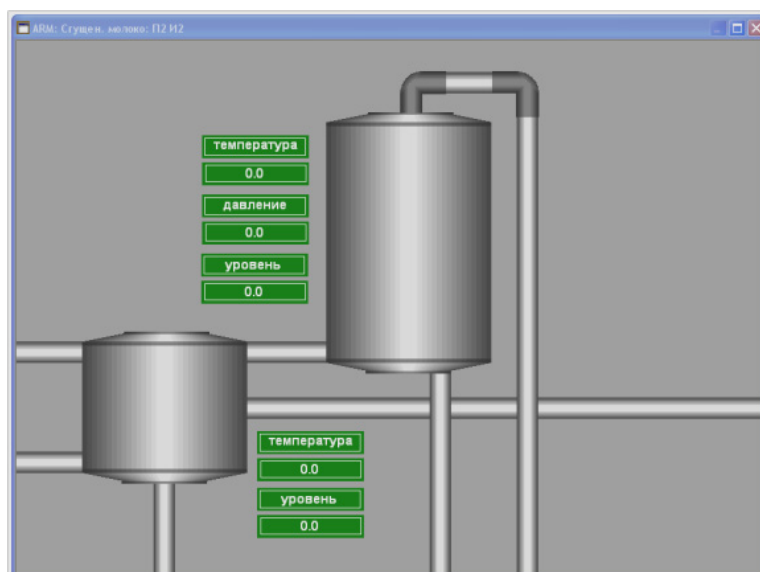


Рисунок 5 – Экранная форма 2 (пароотделитель, испаритель)

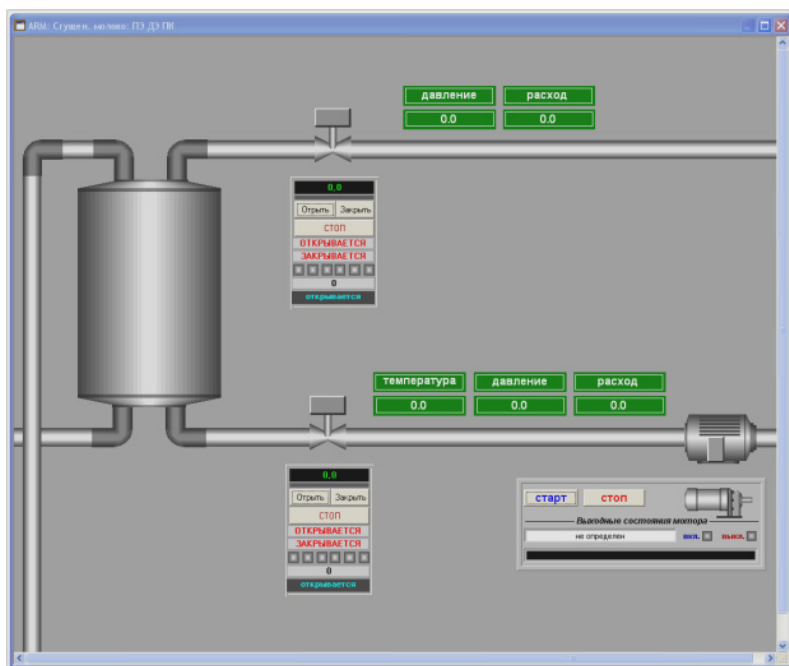


Рисунок 6 – Экранная форма 3 (пусковой эжектор, двухступенчатый эжектор, поверхностный конденсатор)

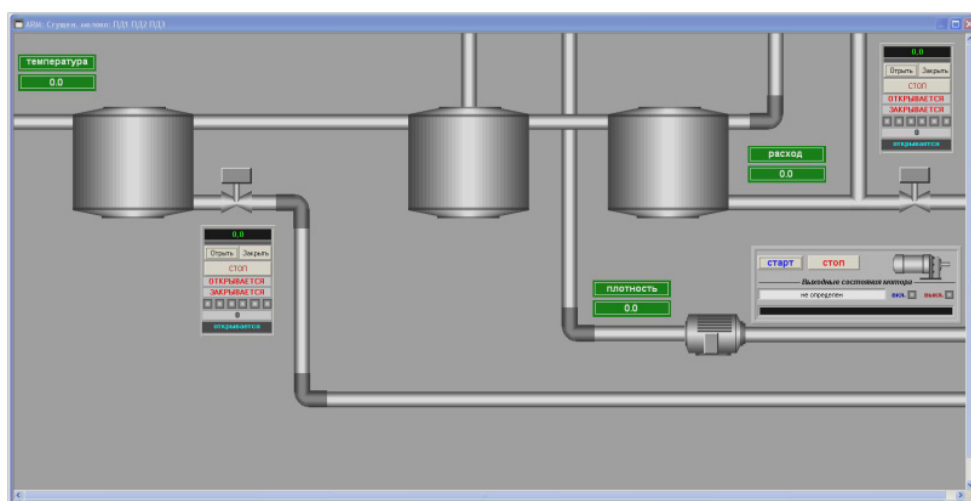


Рисунок 7 – Экранная форма 4 (подогреватели первой, второй и третьей ступеней)

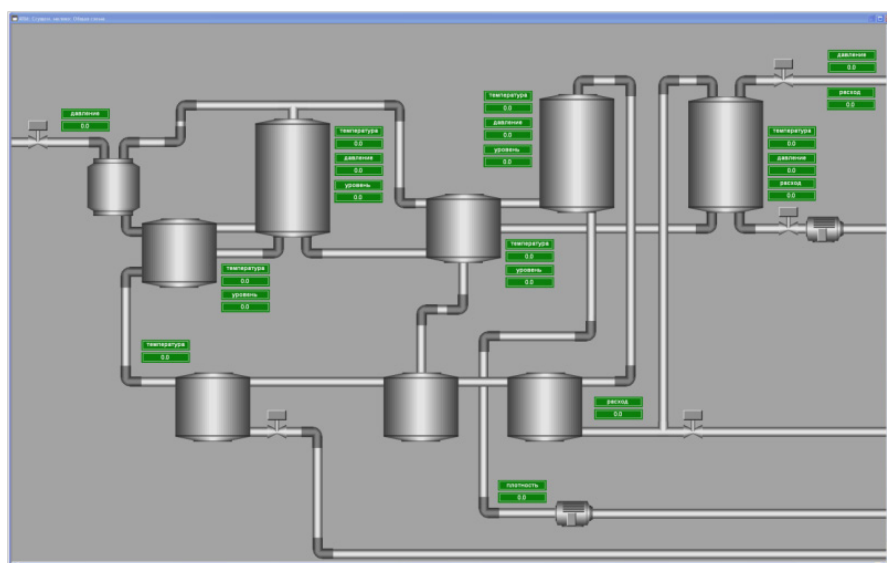


Рисунок 8 – Общая экранная форма участка производства сгущенного молока

Таким образом, в представленном SCADA-проекте показана программная реализация системы автоматического регулирования в среде TRACE MODE, в результате чего решены задачи разработки программного обеспечения АСУ ТП.

Выводы. Разработанный SCADA-проект позволил усовершенствовать рабочее место оператора вакуум-выпарной установки в производстве сгущенного молока, обеспечив человеко-машинный интерфейс между оператором и автоматизированной системой управления технологическим процессом. В результате сокращается время, необходимое на реагирование и принятие решений персоналом. Данная АСУ ТП решает задачи контроля, защиты, сигнализации, автоматического регулирования основных и вспомогательных технологических параметров объекта. Кроме того, система автоматической сигнализации позволяет снизить количество брака продукции, и, соответственно, повысить выпуск и снизить себестоимость продукции на единицу сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Байкенов Б.С., Исаков Е.А., Абдували Ж.К. Разработка scada-системы на базе микрокомпьютера // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2020. – № 4 (115). – С. 179-185.
2. Байкенов Б.С., Исаков Е.А., Тойгожинова А.Ж. Разработка IT-системы диспетчерского управления // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2019. – № 4 (111). – С. 253-257.
3. Жидков В.А. Сравнительный анализ scada-систем, применяемых в диспетчерских службах белгородской энергосистемы // вестник Белгородского государственного технологического университета Им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 1. – С. 185-189.
4. Словеснов Н.А., Мирсаитов С.Ф., Светличный В.В. Внедрении технологии пиринговых сетей в системы SCAD // Аспирант. – 2019. – № 3 (45). – С. 27-33.
5. Баймухамедов М.Ф. Построение автоматизированной системы управления технологическими процессами на базе производственной экспертной системы // Аграрный вестник Урала. 2013. № 8 (114). С. 26-28.
6. Geeta Yadav, Kolin Paul. Architecture and security of SCADA systems: a review // International Journal of Critical Infrastructure Protection. – 2021. – № 34. – Article 100433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433>
7. Dimitrios Pliatsios; Panagiotis Sarigiannidis; Thomas Lagkas; Antonios G. Sarigiannidis. A Survey on SCADA Systems: Secure Protocols, Incidents, Threats and Tactics // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2020. – № 22(3). – P. 1942-1976. DOI: 10.1109/COMST.2020.2987688
8. Anam Sajid; Haider Abbas; Kashif Saleem. Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges // IEEE Access. – 2016. – № 4. – P. 1375-1384. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2549047
9. Alexandru Ujvarosi. Evolution of scada systems // Bulletin of the Transilvania University of Braşov. 2016. Vol. 9 (58) No. 1. P. 63-68.
10. Цочев, Г. Р., Йошинов, Р. Д., & Илиев, О. П. Основные проблемы защиты критической инфраструктуры сетей на основе систем SCADA. // Труды СПИИРАН. – 2019. – № 18(6). – P. 1333-1356. DOI: <https://doi.org/10.15622/sp.2019.18.6.1333-1356>.
11. Русанов В.В., Перов В.И., Самойлов М.А. Автоматизация предприятий общественного питания с использованием современных цифровых технологий: программ Arduino IDE, OPC Modbus и Master Scada // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – № 80 (2). – С. 38-44.
12. Колесников А.В., Карепанова Д.О. Автоматизация предприятий общественного питания // Современные проблемы экономического развития предприятий, отраслей, комплексов, территорий: Материалы Международной научно-практической конференции. Хабаровск, 2021. – Том 1. – С. 279-283.
13. Ашмарова О.В., Федулова Е.А. Возможности применения автоматизированных информационных систем управления предприятиями пищевой промышленности // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – № 2 (41). – С. 170-176.
14. Каповский Б.Р., Пляшешник П.И. Автоматические системы управления технологическими процессами в мясной промышленности // Мясная Индустрия. – 2016. – № 4. – С. 25-27.
15. J.F. Holmes, G. Russell, J.K. Allen. 6 - Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and related systems for automated process control in the food industry: an introduction // Robotics and Automation in the Food Industry. Current and Future Technologies. – 2013. – P. 130-142. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857095763.1.130>
16. Dan Selişteanu; Monica Roman; Dorin Şendrescu; Emil Petre; Bogdan Popa. A distributed control system for processes in food industry: Architecture and implementation // 2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC). – 2018. – DOI: 10.1109/CarpathianCC.2018.8399615
17. Ombretta Paladino, Francesca Fissor, Matteo Neviani. A Low-Cost Monitoring System and Operating Database for Quality Control in Small Food Processing Industry // J. Sens. Actuator Netw. – 2019. – № 8(4). – P. 52. DOI: <https://doi.org/10.3390/jsan8040052>
18. Turkay Kondakci, Weibiao Zhou. Recent Applications of Advanced Control Techniques in Food Industry // Food and Bioprocess Technology. – 2017. – № 10. – P. 522-542. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-016-1831-x>
19. Prashant. A. Khade, S.S.Patil, M.P.Takale. CIP System for Dairy Industry using PLC and SCADA // Journal of Signal Processing. MAT Journals. – 2018. – № 4 (2). – P. 1-12. DOI: <https://core.ac.uk/download/pdf/230490902.pdf>
20. Kantale, R. A., Sharma, V. K., Nagaratna., Bhagat, P. and Lahamge. SCADA- Automation Key Concept of Dairy Industrial Control System // Vigyan Varta. – 2022. – № 3(12). – P. 45-50. DOI: https://www.vigyanvarta.com/adminpanel/upload_doc/VV_1222_11.pdf
21. Heema R., Sivaranjani S., Gnanalakshmi K.S. An insight in to the automation of the dairy industry: A review // Asian Journal of Dairy and Food Resea. – 2022. – № 41(2). – P. 45-50. DOI: 10.18805/ajdfdr.DR-1856
22. Бородулин Д.М. Разработка математического обеспечения процесса регулирования температуры молока на выходе из секции охлаждения // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2022. – № 84 (1). – С. 24-28. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-24-28>
23. Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В. Обоснование параметров механической обработки молока при производстве кисломолочных продуктов // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. – № 3. – С. 375-382. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-3-375-382
24. Ивкова И.А., Скрыбина О.В., Рябкова Д.С., Динер Ю.А., Петрова Е.И. Разработка технологии и исследования качества молочных консервов для регионов с ограниченными ресурсами натурального молочного сырья // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – № 80 (3). – С. 254-258. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-254-258>
25. Шемятин А.М., Юркин Д.С. Модернизация технологического оборудования для тепловой обработки при производстве кисломолочных продуктов // Заметки ученого. – 2021. – №. 9-1. – С. 311-316.

Статья поступила в редакцию 27.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 613.2

EDN: CWHAVG

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОГО РАЦИОНА СТУДЕНТОВ КАК ПРЕДПОСЫЛКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАПИТКА ИЗ МЯКОТИ ТЫКВЫ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 2551-2375

AuthorID: 482628

ORCID: 0000-0002-9146-6951

WoS Researcher ID: B-4318-2017

ШКОЛЬНИКОВА Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры технологии питания

Уральский государственный экономический университет

(620144, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, д. 62/45,

e-mail: shkolnikova.m.n@mail.ru)

SPIN: 2577-5850

AuthorID: 1027269

ORCID: 0000-0002-2009-8856

АББАЗОВА Венера Нагимовна, старший преподаватель кафедры управления качеством и
экспертизы товаров и услуг, аспирант кафедры технологии питания

Уральский государственный экономический университет

(620144, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, д. 62/45,

e-mail: abbazova@usue.ru)

SPIN: 4621-3360

AuthorID: 571351

ORCID: 0000-0002-3982-9700

ResearcherID: W-6663-2018

ScopusID: 50462502800

РОЖНОВ Евгений Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии
Бийский технологический институт (филиал)

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

(659305, Россия, г. Бийск, улица Героя Советского Союза Трофимова, 27, *e-mail: red@bti.secna.ru)*

Аннотация. Организация рационального, сбалансированного питания обучающихся влияет на повышение качества жизни и учебы студентов, повышению иммунитета обучающихся. Здоровье современного человека в значительной степени определяется характером, уровнем и структурой питания. Разработка функциональных пищевых продуктов, предназначенных для систематического употребления в составе пищевых рационов студентов снижает риск развития заболеваний, связанных с питанием. Химический состав тыквы включает пищевые волокна, пектин и другие полисахариды, макро- и микроэлементы, комплекс биологически активных веществ (БАВ), содержащий каротиноиды, флавоноиды, витамины и другие вещества. Данное исследование проводится в целях совершенствования организации питания, улучшения его качества, обеспечения обучающихся питанием, соответствующим принципам сбалансированного питания с учетом рациональных норм потребления пищевых продуктов. В работе приведены результаты исследования фактического пищевого рациона и пищевого поведения студентов вуза. По результатам проведенного исследования авторами сформирована концепция разработки напитка из мякоти тыквы для восполнения микронутриентов в рационе студентов.

Ключевые слова: рациональное питание, питание студентов, тыква, тыквенный напиток, растительный йогурт, здоровый образ жизни, микронутриенты, сбалансированное питание, функциональное питание.

RESEARCH OF THE DIET OF STUDENTS AS A PREREQUISITE FOR THE DEVELOPMENT OF A DRINK FROM PUMPKIN PULP

© The Author(s) 2023

SHKOLNIKOVA Marina Nikolaevna, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the Nutrition Technology Department

ABBAZOVA Venera Nagimovna, senior lecturer of the department of quality management
and expertise of goods and services, postgraduate student of the department of Food Technology

Ural State University of Economics

(620144, Sverdlovsk Region, Yekaterinburg, 8 Marta/Narodnaya Volya st., 62/45,

e-mails: shkolnikova.m.n@mail.ru, abbazova@usue.ru)

ROZHNOV Evgeny Dmitrievich, doctor of technical sciences, professor of Biotechnology Department

Biysk Technological Institute (branch) Altai State Technical University. I.I. Polzunov

(659305, Russia, Biysk, street Hero of the Soviet Union Trofimov, 27, *e-mail: red@bti.secna.ru)*

Abstract. The organization of a rational, balanced nutrition of students affects the improvement of the quality of life and study of students, the increase in the immunity of students. The health of a modern person is largely determined by the nature, level and structure of nutrition. The development of functional food products intended for systematic use as part of students' diets reduces the risk of developing nutrition-related diseases. The chemical composition of pumpkin includes dietary fiber, pectin and other polysaccharides, macro- and microelements, a complex of biologically active substances (BAS) containing carotenoids, flavonoids, vitamins and other substances. This study is carried out in order to improve the organization of nutrition, improve its quality, provide students with nutrition that meets the principles of balanced nutrition, taking into account rational norms for food consumption. The paper presents the results of a study of the actual diet and eating behavior of university students. Based on the results of the study, the authors formed the concept of developing a drink from pumpkin pulp to replenish micronutrients in the diet of students.

Keywords: rational nutrition, student nutrition, pumpkin, pumpkin drink, vegetable yogurt, healthy lifestyle, micronutrients, balanced nutrition, functional nutrition.

Для цитирования: Школьникова М.Н. Исследование пищевого рациона студентов как предпосылка для разработки напитка из мякоти тыквы / М.Н. Школьникова, В.Н. Аббазова, Е.Д. Рожнов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 66-71. – EDN: CWHAVG.

Введение. Общеизвестна и доказана важность для здоровья человека питания, нарушение которого увеличивает риск развития различных заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых, новообразований, сахарного диабета II типа и др. [1, 2]. В настоящее время особую тревогу вызывает тенденция к росту числа молодых людей с дислипидемией, артериальной гипертензией, ожирением и избыточной массой тела, одной из причин развития которых может быть нарушение пищевого поведения [3-5].

Пищевое поведение в основном формируется в детском возрасте под влиянием пищевых установок родителей, сверстников и социального окружения. Однако – это сложный динамический процесс, который возможно формировать и в студенческом периоде [6]. В связи с этим за последние несколько лет количество исследований, посвященных изучению и анализу пищевого поведения студентов, значительно возросло и на текущий момент является актуальным и крайне важным [7-11]. В результате проведенных исследований установлены как нарушения режима питания, так и недостаточность в рационе растительного и животного белка, пищевых волокон витаминов и минеральных веществ. В связи с чем целесообразно рассмотреть возможность использования в технологии напитков недорогого местного овощного сырья, в частности, – мякоти тыквы обыкновенной *Cucurbita* перо как источника микронутриентов. Плоды тыквы обладают высоким технологическим потенциалом благодаря повсеместному выращиванию в большом диапазоне агроклиматических условий и способностью к длительному хранению, содержанию пищевых волокон, пектина, полисахаридов, каротиноидов, полифенольных веществ, витаминов, обуславливающих широкий спектр физиологической направленности.

Химический состав мякоти тыквы (пищевые волокна, пектин, полисахариды, каротиноиды, полифенольные вещества и др.), обуславливающий ее функциональное воздействие на организм человека (противодиабетическое, антиоксидантное, антиканцерогенное, гипотензивное, гипогликемическое и гипохолестеролемическое, противовоспалительное)

довольно хорошо изучен и приведен в ряде недавних исследований российских и зарубежных авторов [12-14].

В аспекте разработки напитков для рациона питания студентов особый интерес представляют каротиноиды тыквы, содержание которых (порядка 170 мг/г) позволяет рассматривать мякоть как надежный их источник. Каротиноиды являясь пигментами, окрашивают мякоть в ярко-желтый цвет – лютеин и оранжевый – β -каротин. Каротиноиды являются антиоксидантами, повышают иммунитет, обеспечивают синтез витамина А, укрепляют кровеносные сосуды, защищают от атеросклероза, рака, катаракты глаз, диабета, болезней печени и т.д. [15]. Содержание витаминов-синергистов в мякоти тыквы составляет, мг/г: С – 2-10, Е – 9-10 [16].

Методология. Цель работы – обоснование вида напитка из мякоти тыквы на основе исследования фактического питания студентов для восполнения микронутриентов в их рационе.

Для анализа фактического пищевого рациона и пищевого поведения студентов использовали стандартизированное интервью по разработанной анкете с закрытыми вариантами ответов. В качестве респондентов выступили 208 студентов ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» (г. Екатеринбург), из которых 124 человека (59,6%) женского и 84 (31,4%) – мужского пола в возрасте от 17–22 лет, более половины опрошенных – 56,4% – 19-20 лет. Для статистической обработки полученных результатов использованы возможности MS Excel 2007.

Результаты и обсуждение. В ходе опроса выявлено, что не менее 3-х раз в день регулярно питаются почти 60% опрошенных (рис. 1).

Доля респондентов, имеющих в день два приема составляет 17,6%, из примерно поровну не обедают / не ужинают; 3,3% опрошенных плотно кушают один раз в день, чего, по их заверению им вполне достаточно, так как в течение дня перекусывают, употребляют тонизирующие напитки и кондитерские изделия. Около 20% респондентов не имеют устойчивого распорядка приема пищи, так как выбиваются из режима.

Также в ходе анализа было выявлено, что 7,2% опрошенных не завтракают вообще, а 26,1% завтракают редко (рис. 2).

Как видно из рисунка 2, более половины опрошенных (51,6%) завтракают, что можно отметить как весьма положительный момент, так как завтрак увели-

чивает продуктивность на 1/3, способствует быстрому запоминанию и концентрации. Ранее Т.А. Аксеновой и соавторами установлено, что отсутствие полноценного завтрака приводит к ощущению чувства голода в районе 10 часов утра (44,2%), а также к большим порциям во время обеда или ужина (78,2%) [17].

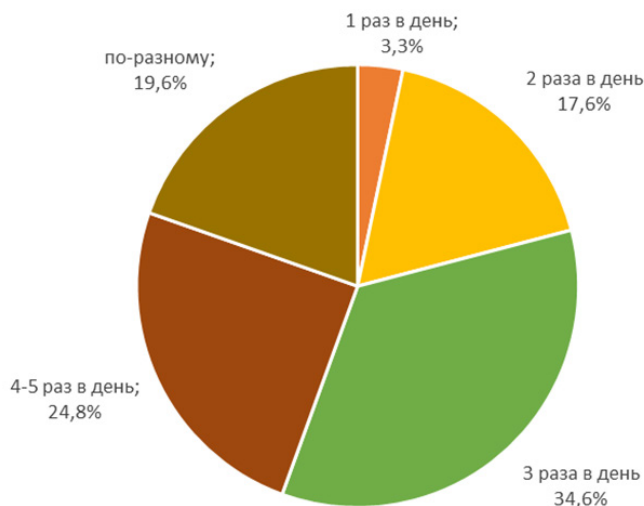


Рисунок 1 – Кратность приемов пищи, %

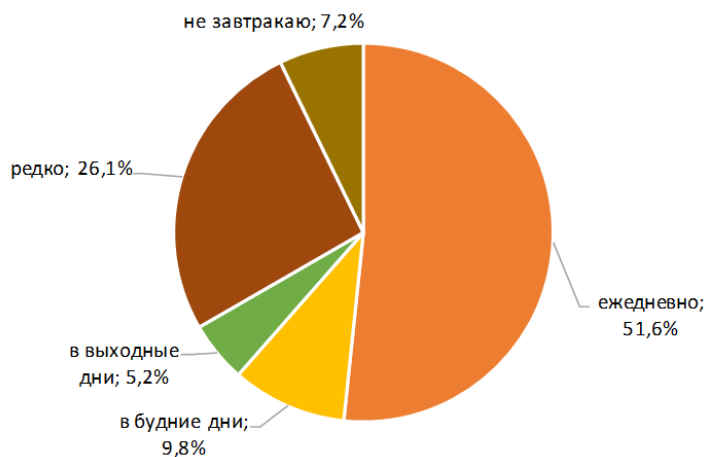


Рисунок 2 – Частота завтраков, %

В ходе анализа было выявлено редкое употребление горячих блюд (рис. 3).

Установлено, что только 34,0% опрошенных едят горячую пищу всего один раз в день, а 13,7% – несколько раз в неделю. Данная привычка крайне плохо влияет на усвояемость пищи – холодная еда переваривается стремительно и в желудке почти не задерживается, а непереваренные белки следуют прямо в кишечник. В результате их неполной переработки возможны предпосылки к возникновению различных заболеваний, как следствие нарушения обмена веществ – дисбактериоз, ожирение и др. Однако, почти половина респондентов (47,1%) несколько раз в день употребляет горячую пищу, которая переваривается медленнее холодной и полностью расщепляется на белки, жиры и углеводы.

В ходе анкетирования установлено, что мясные

продукты, овощи и фрукты опрошенные употребляют, обеспечивая свой пищевой рацион основными макро-и микронутриентами нутриентами – белками и витаминами (рис. 4).

Отсутствие в рационе мясного белка 11,1% опрошенных объяснили нежеланием включать мясные продукты в свой рацион, тогда как почти 60% – причиной недостатка денег, невозможностью купить мясные продукты высокой степени готовности и нежеланием готовить самим; лишь 29,4% респондентов употребляют продукты переработки мяса ежедневно.

При анализе ответов анкеты выявлено довольно частое употребление фаст-фуда: у 7,2% респондентов гамбургеры, картофель фри, пакетированные супы в ежедневном рационе, 18,3% – несколько раз в неделю (рис. 5).

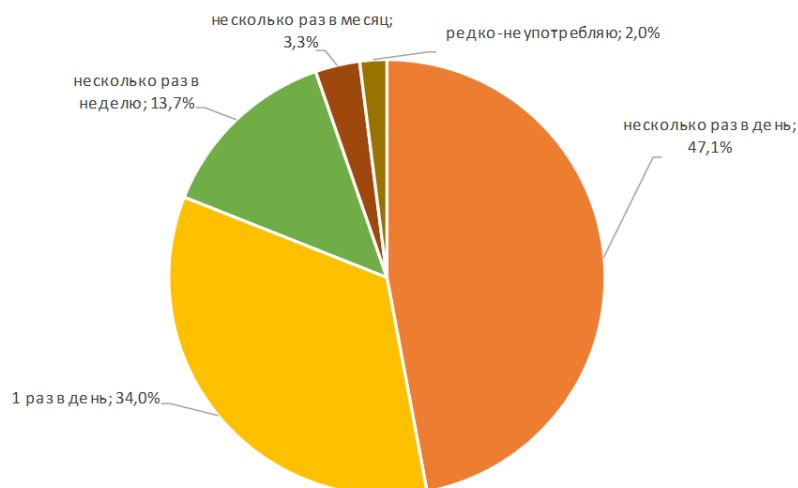


Рисунок 3 – Частота приемов горячей пищи, %

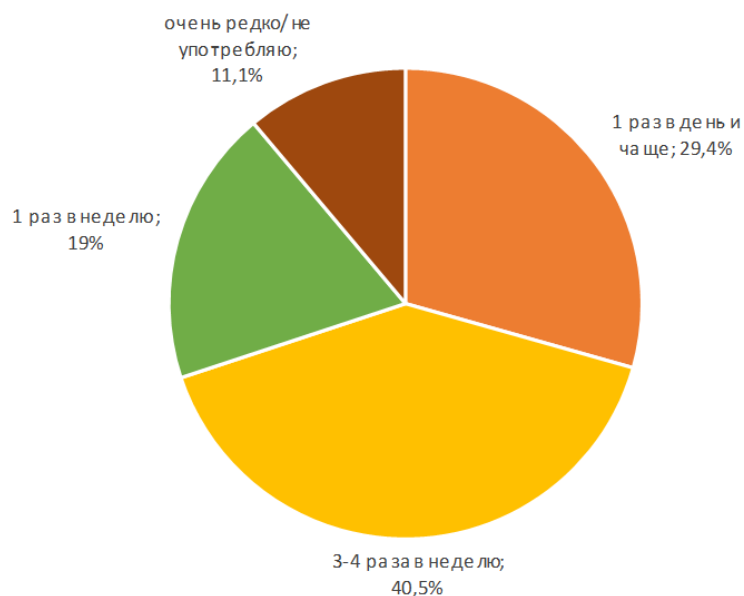


Рисунок 4 – Частота употребления мясной продукции, %

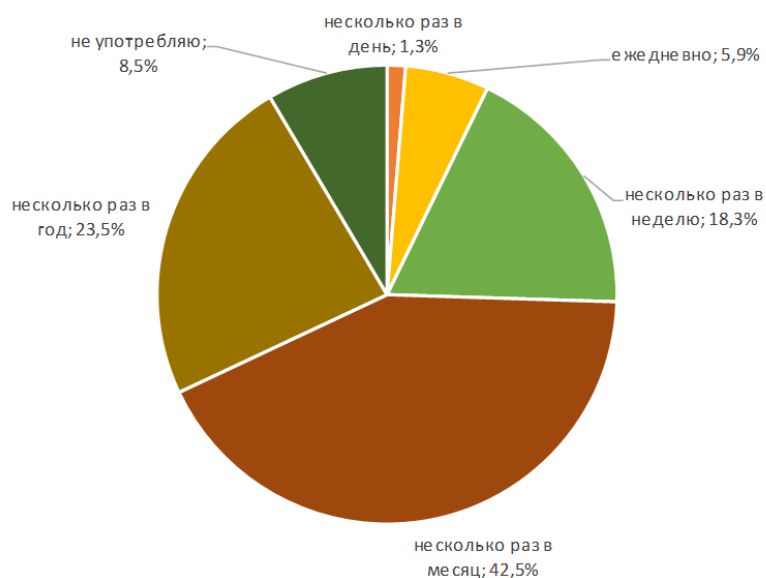


Рисунок 5 – Частота употребления фаст-фуда, %

Стоит отметить, что проблемы со здоровьем, возникающие при регулярном употреблении продуктов фаст-фуда, волнуют медицинское сообщество уже давно, так как доказано на фоне их употребления развитие заболеваний желудочно-кишечного тракта, ожирения и т.д. [18].

На вопрос: «Как часто вы едите фрукты и овощи?» лишь 31,4% опрошенных ответили «Ежедневно», при этом 13,1% – несколько раз в день (рис. 6).

Около 21% опрошенных ответили «Несколько раз в месяц», а 2,6% – редко либо не употребляют вообще, что критично. В целом опрошенные студенты употребляют фруктов и овощей меньше, чем нужно для нормальной жизнедеятельности человека. Фрукты и

овощи должны присутствовать в ежедневном рационе как источники клетчатки и целого перечня биологически активных веществ.

Надо сказать, что полученные в ходе исследования результаты хорошо согласуются с результатами аналогичных исследований в различных городах и вузах РФ [9-11].

Таким образом, можно определить основные проблемы пищевого поведения студентов: нерегулярное питание, отсутствие завтраков и приемов горячей пищи, при этом в пищевом рационе молодых людей выявлено недостаточное количество источников белка, клетчатки и БАВ-микронутриентов фруктов и овощей.

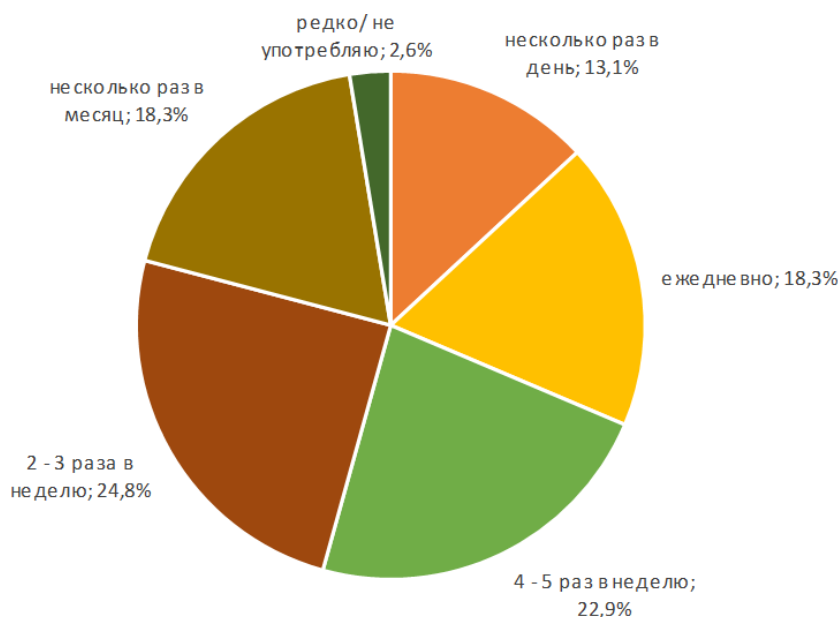


Рисунок 6 – Частота употребления фруктов и овощей, %

Далее в ходе опроса была выявлена малая осведомленность о пользе БАВ фруктов и овощей вообще и каротиноидов в частности: 41,11% респондентов не знает о пользе БАВ, а 46,29% – чем полезны каротиноиды для организма человека.

Стоит сказать, что мякоть плодов тыквы обычно-

венной имеет определенные перспективы в технологиях напитков с минимальной термической обработкой [19, 20].

В ходе анализа было выявлено в основном положительное отношение к напиткам из облепихи из тыквы (рис. 7).

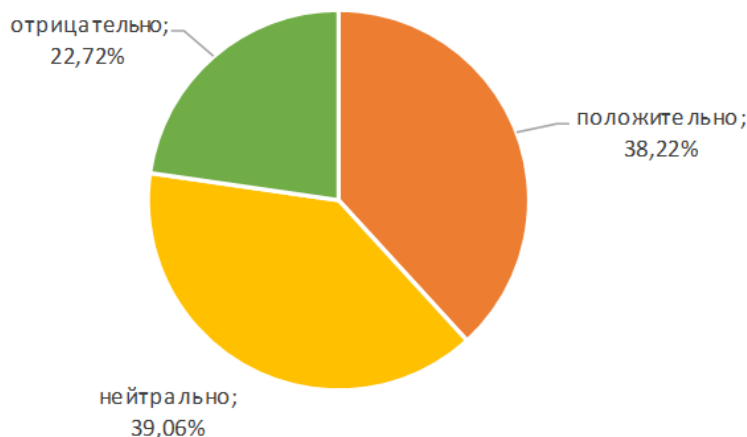


Рисунок 7 – Отношение к напиткам из тыквы, %

Из диаграммы рис. 7 видно, что к напиткам из мякоти тыквы положительно отнеслись 38,22% опрошенных, имеющих опыт употребления соков и нектаров на основе тыквы, 39,06% респондентов придерживаются нейтральной позиции, а значит при правильном позиционировании напитков из мякоти тыквы могут стать их потребителями.

Выводы. На основе опроса выявленные основные проблемы пищевого поведения студентов, хорошо согласующиеся с литературными данными, при этом в пищевом рационе опрошенных молодых людей выявлено недостаточное количество источников белка, клетчатки и БАВ-микронутриентов фруктов и овощей. Установлена невысокая осведомленность о пользе БАВ фруктов и овощей вообще и каротиноидов в частности: 41,11% респондентов не знает о пользе БАВ, а 46,29% – чем полезны каротиноиды для организма человека. При этом к напиткам из мякоти тыквы положительно отнеслись 38,22% а почти 40% респондентов придерживаются нейтральной позиции, а значит при правильном позиционировании напитков из мякоти тыквы могут стать их потребителями. Таким образом, сформирована концепция напитка и определен его вид – растительный йогурт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оптимальное питание - основа здорового образа жизни / В. А. Тутельян, Н. Ф. Герасименко, Д. Б. Никитюк, А. В. Погожева // Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы. – Москва: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2019. – С. 228-249.
2. Кайшев, В. Г. Функциональные продукты питания: основа для профилактики заболеваний, укрепления здоровья и активного долголетия / В. Г. Кайшев, С. Н. Серегин // Пищевая промышленность. – 2017. – № 7. – С. 8-14.
3. Малявская С. И., Лебедев А. В. Актуальность выявления метаболических фенотипов ожирения в детском и подростковом возрасте // Альманах клинической медицины. – 2015. – No 42(10). – С. 38-45. doi: 10.18786/2072-0505-2015-42-38-45.
4. Guzman-Limon M, Samuels J. Pediatric Hypertension: Diagnosis, Evaluation, and Treatment. *Pediatr Clin North Am.* 2019 Feb;66(1):45-57. doi: 10.1016/j.pcl.2018.09.001.
5. Lee EY, Yoon KH. Epidemic obesity in children and adolescents: risk factors and prevention. *Front Med.* 2018 Dec;12(6):658-666. doi: 10.1007/s11684-018-0640-1.
6. Дурнева, М. Ю. Формирование пищевого поведения: путь от младенчества до подростка. Обзор зарубежных исследований / М. Ю. Дурнева // Клиническая и специальная психология. – 2015. – Т. 4, № 3. – С. 1-19. – DOI 10.17759/crpe.2015040301.
7. Ромашов, А. Ю. Актуальность проблемы неправильного питания современного студента / А. Ю. Ромашов, Ю. А. Кашпарова // Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта. – 2020. – № 2(18). – С. 77-83.
8. Аминова, О. С. Питание молодежи как фактор самосохранительного поведения / О. С. Аминова, Н. Н. Тятенкова, Ю. Е. Уварова // Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы : монография : в 5 т. Том 2. – Москва : Издательство "Научная книга", 2019. – С. 205-218.
9. Лысцова, Н. Л. Оценка здоровья студенческой молодежи / Н. Л. Лысцова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-8. – С. 1699-1702.
10. Дрожжина Н. А., Максименко Л. В. Организация питания студентов. *Вестник РУДН, серия Медицина.* 2013. – No 1. – С.112-118.
11. Проскуракова Л. А. Особенности пищевого поведения и виды его нарушений у студентов различных сроков обучения. Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – No 2. – С. 118-124.
12. Осмоловский П.Д., Пискунова Н.А., Воробьева Н.Н., Сычев Р.В., Игнатъева С.Л. Технологическая оценка современных сортов тыквы как сырья для производства варенья // *Вестник ЮУрГУ. Серия Пищевая и биотехнологии.* – 2019. – Т. 7. – №2. – С. 5-14. DOI: 10/14529/food190201.
13. 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.
14. Simran Kaur, Anil Panghal, M.K. Garg, Sandeep Mann, Sunil K. Khatkar, Poorva Sharma and Navnidhi Chhikara Functional and nutraceutical properties of pumpkin – a review *Nutrition & Food Science Vol. 50 No. 2, 2020 pp. 384-401. DOI 10.1108/NFS-05-2019-0143.*
15. J. Terao, Y. Minami and N. Bando Singlet molecular oxygen-quenching activity of carotenoids: relevance to protection of the skin from photoaging, *J. Clin. Biochem. Nutr.*, vol. 48, pp. 57-62, 2011.
16. Martha, R. and Gutierrez, P. (2016), "Medicinal chemistry review of Cucurbita pepo (pumpkin) its phytochemistry and pharmacology", *International Journal of Pharmacology and Phytochemistry Research*, Vol. 9 No. 9, pp. 1190-1194.
17. Аксенова Т. А., Щербак В. А., Скобова Ю. В., Ильин Г. Н., Аксенов К. О., Ирбеткина А. А., Сарапулова Е. В. Положительная корреляционная связь нерегулярного питания с частотой возникновения желудочной диспепсии у студентов медицинского ВУЗа. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология.* 2021;186(2). pp. 58-64. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-186-2-58-64.
18. Alfawaz H. A. The relationship between fast food consumption and BMI among university female students // *Pakistan Journal of Nutrition.* – 2012. – Т. 11. – № 5. – С. 406.
19. Rozhnov, E. D. Formation of rheological characteristics of vegetable and fruit smoothies to ensure their quality / E. D. Rozhnov, M. N. Shkolnikova, A. O. Kazarskikh [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2020. – Vol. 613. – Art. 12125.
20. Rozhnov E D 2019 Approaches to the Formulations Development of Carotenoid-Containing Soft Drinks *Индустрия питания*[Food Industry 4(4) P. 37-43 doi: 10.29141/2500-1922-2019-4-4-5 (in Russian).

Статья поступила в редакцию 20.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 637.5

EDN: CZLCTH

ВЛИЯНИЕ ЛАКТАТСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК И КУРКУМЫ НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

© Автор(ы) 2023

SPIN: 4040-8322

AuthorID: 425233

ORCID: 0000-0003-0228-2905

ResearcherID: H-5250-2018

ScopusID: 57208466314

АСФОНДЬЯРОВА Ирина Владимировна, кандидат технических наук, доцент высшей школы сервиса и торговли института промышленного менеджмента, экономики и торговли,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(193231, Россия, Санкт-Петербург, проспект Большевиков, 3, корп.2, e-mail: ririna25@mail.ru)

SPIN 5003-2483

AuthorID: 642956

ORCID: 0000-0003-0365-4870

ResearcherID: AНВ-3397-2022

ScopusID: 57197812408

ДЕМЧЕНКО Вера Артемовна, старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва
(195298, г. Санкт-Петербург, пр. Энтузиастов, д.39, к.1, e-mail: dem8484@gmail.com)

SPIN: 7798-7584

AuthorID: 1123348

ORCID: 0000-0003-0308-1267

БЕСКОРОВАЙНЫЙ Николай Дмитриевич, магистр 2 курса высшей школы сервиса и торговли института промышленного менеджмента, экономики и торговли
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(194021, Санкт-Петербург, Новороссийская ул., 50, e-mail: bescorovanyu@gmail.com)

Аннотация. В статье приведена рецептура и технология изготовления мясных полуфабрикатов с применением лактатсодержащих добавок и куркумы, представлены результаты исследования безопасности и качества обогащенных мясных полуфабрикатов по органолептическим (внешний вид, цвет, консистенция, вкус и запах), физико-химическим (содержание белка, жира, крахмала, поваренной соли, хлеба, влаги и кислотное число) и микробиологическим показателям (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) в процессе хранения при температуре от 0 до + 4°C. По данным органолептической оценки было установлено, что на 4-й день хранения образцы, с внесенными пищевыми добавками, получили более высокие баллы, чем контрольный образец без. Максимальное количество баллов получил образец с добавлением куркумы. Физико-химические показатели качества образцов котлет соответствовали стандартным требованиям. По микробиологической безопасности установили, что при проведении исследования наилучший результат показал образец с внесением добавки на основе молочной кислоты «Оптима-1». Применение добавок на основе уксусной, пропионовой и молочной кислот, а также куркумы в производстве мясных полуфабрикатов позволило увеличить их срок хранения до 48 часов при температуре хранения 0 – 4°C, что положительно сказалось на качестве и безопасности продукции. Наилучшими потребительскими свойствами при хранении обладали котлеты с применением добавки «Оптима-1».

Ключевые слова: мясные полуфабрикаты, технология производства, лактатсодержащие добавки, хранение, органолептические, физико-химические и микробиологические показатели.

INFLUENCE OF LACTATE-CONTAINING ADDITIVES AND TURMERIC ON THE QUALITY AND SAFETY OF SEMI-FINISHED MEAT PRODUCTS IN THE PROCESS OF STORAGE

© The Author(s) 2023

ASFONDIAROVA Irina Vladimirovna, candidate of Technical Sciences, associate professor of the Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
(445020, Russia, St. Petersburg, street Bolshevnikov 3, e-mail: ririna25@mail.ru)

DEMCHENKO Vera Artemovna, senior researcher 21 research department
(research of problems of material support of troops (forces))

Scientific Research Institute (Military System Studies of Logistics of the Armed Forces of the Russian Federation) of the VA MTO named after Army General A. V. Khrulev

(195298, St. Petersburg, Entuziastov Ave., 39, k.1, e-mail: dem8484@gmail.com)

BESKOROVAYNY Nikolay Dmitrievich, master of the second course Higher School of Service and Trade,
Institute of Industrial Management, Economics and Trade
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
(194021, St. Petersburg, Novorossiysk str., 50, e-mail: beskorovanyy@gmail.com)

Abstract. The article presents the recipe and technology for the manufacture of semi-finished meat products using lactate-containing additives and turmeric, presents the results of a study of the safety and quality of enriched meat semi-finished products in terms of organoleptic (appearance, color, texture, taste and smell), physicochemical (protein, fat, starch content), salt, bread, moisture and acid number) and microbiological indicators (the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms) during storage at a temperature of 0 ... + 4 ° C. According to the organoleptic evaluation, it was found that on the 4th day of storage, the samples with added food additives received higher scores than the control sample without. The sample with the addition of turmeric received the maximum score. Physical and chemical indicators, quality of samples of cutlets corresponded to standard requirements. In terms of microbiological safety, it was established that during the study, the best result was shown by a sample with the addition of an additive based on lactic acid "Optima-1". The use of additives based on acetic, propionic and lactic acids, as well as turmeric in the production of semi-finished meat products has increased their shelf life up to 48 hours at a storage temperature of 0 - 4°C, which had a positive impact on the quality and safety of products. Cutlets with the use of the Optima-1 additive had the best consumer properties during storage.

Keywords: semi-finished meat products, production technology, lactate-containing additives, storage, organoleptic, physico-chemical and microbiological indicators.

Для цитирования: Асфондьярова И.В. Влияние лактатсодержащих добавок и куркумы на качество и безопасность мясных полуфабрикатов в процессе хранения / И.В. Асфондьярова, В.А. Демченко, Н.Д. Бескоровайный // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 72-77. – EDN: CZLCTH.

Введение. Уменьшение себестоимости и улучшение качества продукции является важным фактором в повышении конкурентоспособности производителей, в связи с чем инновационные возможности с точки зрения внедрения новых продуктов имеют первостепенное значение для получения конкурентных преимуществ, как отмечается многими исследователями (Henrik Blichfeldt [1], Jose Waimin [2], Qian-Yun Han [3] и др. [4-7]).

В то же время, главная задача пищевой и перерабатывающей промышленности – контроль качества от сырья и используемых добавок до готовой продукции, что является залогом создания здоровой конкурентной среды на рынке.

Скорпортящиеся продукты, в том числе и изделия из мясного фарша, без консервирования могут представлять бактериальную угрозу для людей. Загрязнение мясной продукции патогенными микроорганизмами может привести к тяжелым заболеваниям, что оказывает существенное негативное влияние как на общее состояние здоровья, так и на экономику в целом [8,9].

Решению указанной проблемы способствуют результаты исследований, достигнутые в последние годы учеными. Авторами (Х.А. Насыров [10], А. Hurtado-Romero, Mariano Del Toro-Barbosa [11], И.В. Асфондьярова, В.А. Демченко [12], А. Vinogradova [13] и др. [14]) предлагается использовать различные альтернативные технологии и пищевые добавки с целью сокращения потерь и предотвращения порчи пищевой продукции.

Для обеспечения безопасности пищевых продуктов и продления срока их хранения для

обеззараживания часто используются традиционные термические методы, такие как бланширование, термическая сушка, омический нагрев, сверхвысокотемпературная стерилизация и пастеризация. Однако, методы термической консервации могут негативно повлиять на organolepticheskie показатели качества, что может привести к нежелательным изменениям цвета, вкуса и текстуры пищи, а также к потере пищевой ценности. Для удовлетворения растущего потребительского спроса на свежие продукты используются различные нетермические технологии: высокое гидростатическое давление, ультразвук, сушка и экструзия, применяемые для обработки пищевых продуктов в течение короткого времени и низких температурных условий, для продления срока хранения, а также для сохранения пищевой ценности, сенсорного качества и безопасности пищевых продуктов.

Наиболее востребованным и актуальным направлением является использование технологий, позволяющих анализировать факторы, замедляющих развитие патогенной микрофлоры и применять пищевые добавки, влияющие на качественные характеристики мясных полуфабрикатов, а также увеличивать срок их годности.

В настоящее время, в качестве регуляторов кислотности и влажности пищевой продукции широко используют соли молочной кислоты: лактаты натрия (E325), кальция (E327), аммония (E328), калия (E326) и магния (E329) [15]. Эти добавки безопасны и физиологически безвредны для организма человека. Они отличаются по составу, соотношению компонентов и pH, антимикробным и антиокислительным

свойствам, а также по воздействию на формирование органолептических показателей качества рыбной и мясной продукции. Ранние исследования пищевых добавок на основе лактатов показали, что плесени и дрожжи могут развиваться в их присутствии.

Зарубежные исследователи (Xinhui Wang, Xingxuan Che, Fang Fang, Yongping Wen [16], Yang Liu [17]) установили, что использование лактата натрия при обработке мяса дает лучшую стабильность pH и цвета, что способствует сохранению его качества. Другие авторы предложили применять лактаты в сочетании с натамицином для сохранения цвета и повышения микробиологической стойкости говядины в процессе ее хранения при положительных температурах.

Так как охлажденные мясные полуфабрикаты имеют небольшой срок годности, для увеличения их срока хранения производители используют различные консерванты и добавки. В связи с чем, разработка и совершенствование технологии переработки мяса с применением лактатсодержащих добавок с целью повышения качества мясной продукции и увеличения ее сроков хранения является актуальным направлением.

Методология. Цель работы – оценить влияние пищевых добавок: «Дилактин Форте» («ДФ»), «Дилактин Форте Плюс» («ДФП») и «Оптима-1» на качество и безопасность мясных полуфабрикатов в процессе хранения при температуре $t=0+4^{\circ}\text{C}$.

Для изготовления мясных полуфабрикатов

использовали классическую рецептуру котлет «Домашние» категории Б ООО «ТД «Перекресток», в состав которых входили: говяжий и свиной фарши в пропорции 3:2, куриные яйца, хлеб пшеничный, сухарная панировка, соль и молотый черный перец.

В качестве добавок использовали комплексные пищевые добавки, состоящие из молочной, уксусной и пропионовой кислот и их солей: «ДФ», «ДФП» и «Оптима-1».

Данные добавки ингибируют процессы окислительной порчи (развитие микроорганизмов), стабилизируют реакцию среды на оптимальном для действия ферментов уровне, снижают показатель активности воды и предотвращают окисление животных жиров, что одновременно способствует предотвращению изменения цвета.

Также, в один из образцов вводилась куркума, обладающая противовоспалительными, антигельминтными, противомикробными, антисептическими свойствами [18].

Таким образом, в качестве объектов исследования были выбраны 5 образцов: образец 1 (классическая рецептура – контрольный образец), образец 2 (классическая рецептура + «ДФ»), образец 3 (классическая рецептура + «ДФП»), образец 4 (классическая рецептура + Оптима-1) и образец 5 (классическая рецептура + куркума) (рис. 1).

Рецептура на 1 кг охлажденного полуфабриката представлена в таблице 1.



Рисунок 1 – Внешний вид исследуемых образцов котлет

Таблица 1 – Рецептура образцов котлет

Ингредиент	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
Вода, мл	200	170	170	170	200
Говядина тазобедренная б/к, г	350	350	350	350	350
Свинина окорок б/к, г	200	200	200	200	200
Лук репчатый, г	30	30	30	30	30
Хлеб пшеничный, г	130	130	130	130	130
Панировка сухарная, г	80	80	80	80	70
Соль, г	8	8	8	8	8
Перец черный молотый, г	2	2	2	2	2
Добавка, г	- Без добавок	30 «ДФ»	30 «ДФП»	30 «Оптима-1»	10 «Куркума»
ИТОГО:	1000 г				

Образцы котлет в сыром виде закладывались на хранение при температуре $t=0+4^{\circ}\text{C}$ на 4 суток. В рамках исследования проводился органолептический анализ в соответствии с методикой ГОСТ 9959 по 5-ти балльной шкале, согласно которой определяли

внешний вид, цвет, запах, консистенцию и вкус.

Из физико-химических показателей качества определяли: кислотное число по ГОСТ Р 55480-2013, массовую долю белка по ГОСТ 25011-2017, жира по ГОСТ 23042-2015, крахмала по ГОСТ 10574-2016,

содержание поваренной соли натрия согласно ГОСТ 9957-2015, содержание хлеба по ГОСТ 34135-2017 и содержание общего фосфора ГОСТ 9794-2015.

Микробиологическую безопасность (КМАФАнМ) определяли согласно ГОСТ Р 54354-2011. Метод основан на посеве смыва образца глубинным способом в питательную среду, аэробном культивировании посевов при температуре (30 ± 1) °C в течение (72 ± 3) ч, подсчете всех выросших видимых колоний и определении КМАФАнМ в 1 г (1 см^3) мясного полуфабриката.

Результаты. Первым этапом исследования было определение КМАФАнМ. Результаты определения

КМАФАнМ в образцах мясных полуфабрикатов представлены в таблице 2.

На втором этапе проводили органолептическую оценку. Результаты представлены в таблице 3 и на рисунке 2.

Третьим этапом было определение физико-химических показателей на соответствие требованиям стандарта [19].

Результаты определения физико-химических показателей качества мясных полуфабрикатов представлены в таблице 4.

Изменение кислотного числа котлет в процессе хранения показано на рисунке 3.

Таблица 2 – Исследование КМАФАнМ в процессе хранения, КОЕ/г

Образец	0 суток (свежевыработанные)	1-е сутки	2-е сутки	4-е сутки
1	$0,55 \times 10^5$	$0,63 \times 10^5$	$0,95 \times 10^5$	$1,85 \times 10^5$
2	$0,55 \times 10^5$	$0,61 \times 10^5$	$0,71 \times 10^5$	$0,85 \times 10^5$
3	$0,54 \times 10^5$	$0,62 \times 10^5$	$0,76 \times 10^5$	$0,89 \times 10^5$
4	$0,54 \times 10^5$	$0,62 \times 10^5$	$0,69 \times 10^5$	$0,79 \times 10^5$
5	$0,53 \times 10^5$	$0,63 \times 10^5$	$0,74 \times 10^5$	$0,95 \times 10^5$

Таблица 3 – Результаты органолептической оценки качества исследуемых котлет, средние баллы

Образцы	Сроки хранения			
	0 суток	1 сутки	2 суток	4 суток
1 (контроль)	4,78	3,60	2,30	1,30
2 («ДФ»)	4,88	4,30	3,40	2,68
3 («ДФП»)	4,82	4,30	3,40	2,98
4 (« Оптима-1»)	4,82	4,30	3,90	2,88
5 («куркума»)	4,80	4,54	3,78	3,24

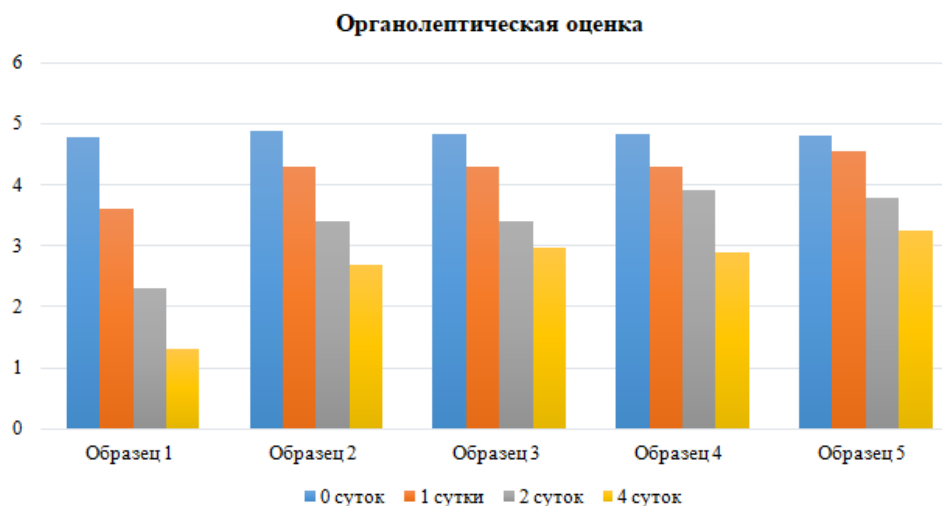


Рисунок 2 – Средние баллы органолептической оценки качества исследуемых котлет

Таблица 4 – Физико-химические показатели качества образцов котлет

Показатель качества	ГОСТ 32951-2014	Образцы				
		1	2	3	4	5
Массовая доля белка %, не менее	12,0	$15,4 \pm 0,77$	$15,3 \pm 0,76$	$15,3 \pm 0,76$	$15,3 \pm 0,76$	$15,3 \pm 0,76$
Массовая доля жира %, не более	35,0	$19,1 \pm 0,96$	$19,0 \pm 0,95$	$19,1 \pm 0,96$	$19,0 \pm 0,95$	$19,1 \pm 0,96$
Массовая доля крахмала %, не более	4,0	$3,2 \pm 0,16$	$3,2 \pm 0,16$	$3,2 \pm 0,16$	$3,2 \pm 0,16$	$3,3 \pm 0,17$
Массовая доля хлористого натрия %, не более	1,8	$0,63 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,03$
Массовая доля общего фосфора %, не более	0,5	$0,2 \pm 0,01$	$0,2 \pm 0,01$	$0,2 \pm 0,01$	$0,2 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,01$
Массовая доля хлеба %, не более	Согласно рецептуры	$18,1 \pm 0,9$	$18,0 \pm 0,9$	$18,0 \pm 0,9$	$18,1 \pm 0,9$	$17,1 \pm 0,85$

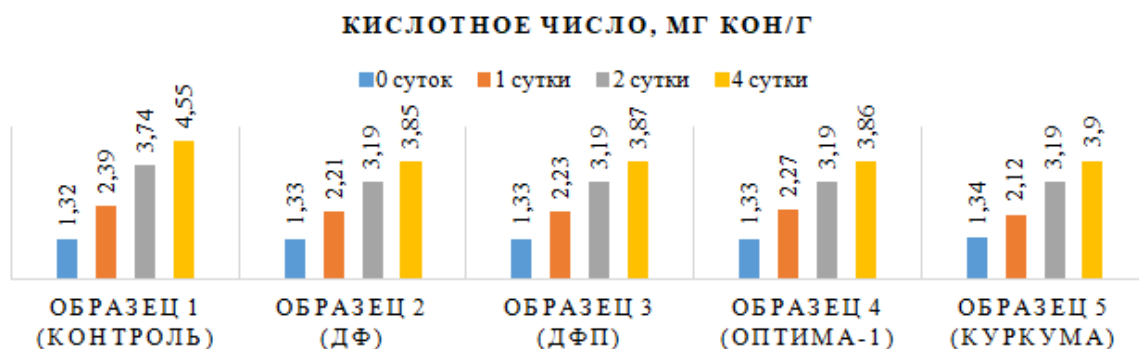


Рисунок 3 – Кислотное число образцов котлет в процессе хранения

Обсуждение. Из результатов исследования КМАФАнМ в мясных полуфабрикатах в процессе хранения следует, что на 4-е сутки в образцах 2-5 данный показатель соответствовал норме $<1 \times 10^5$ согласно ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» [20]. Наилучший результат показал образец 4 с внесением добавки «Оптима-1».

Результаты проведения органолептической оценки образцов мясных полуфабрикатов показали, что по истечению 2-х суток со дня изготовления, контрольный образец потерял свойственный светло-розовый цвет и стал серым, был выявлен неприятный запах, поверхность сильно заветренная, данный образец пришел в негодность. В то же время, образцы 2-4 оставались светло-розовыми, образец 5 желтого цвета, консистенция упругой, поверхность слегка заветренной, запах характерный для продукта.

На 4 сутки, образцы 2-4 потеряли первоначальный цвет, исключением стал образец 5. Запах всех образцов несвойственный неприятный, консистенция мягкая, поверхность сильно заветренная.

Таким образом по результатам проведения органолептической оценки было выявлено, что на 4-й день хранения образцы, обогащенные пищевыми добавками, получили более высокие баллы, чем контрольный образец по таким показателям, как внешний вид, консистенция, цвет и запах. Средние баллы на 4 сутки хранения: образец 1 – 1,3; образец 2 – 2,68; образец 3 – 2,98; образец 4 – 2,88; образец 5 – 3,24. Таким образом, образец 5 получил наивысший балл по органолептической оценке на 4 сутки хранения.

Также, можно сделать вывод, что введение пищевых добавок в состав мясных полуфабрикатов практически не повлияли на изменение физико-химических показателей качества.

Как видно из таблицы 4, исследуемые полуфабрикаты содержали белок не менее 15,3%, жир и поваренную соль в количестве, не более 35% и 1,8%, соответственно. Содержание общего фосфора в образцах 1-4 – 0,2%, а в образце 5 на 0,02% больше, что связано с природным наличием крахмала в куркуме. Массовая доля хлеба в исследуемых котлетах находилась в пределах от 17,1 до 18,1%

Во всех образцах наблюдалось увеличение кислотного числа, обусловленное процессами гид-

ролиза и накоплением свободных жирных кислот. В соответствии с нормой 4 мг КОН/г, из полученных данных видно, что в образцах, обогащенных пищевыми добавками, данный показатель на 4-й день хранения был ниже, чем в контрольном образце.

Выводы. Введение добавок на основе молочной, уксусной и пропионовой кислот, а также куркумы, оказало положительный эффект на органолептические, физико-химические и микробиологические свойства мясных полуфабрикатов. Добавление в рецептуру котлет пищевых добавок способствовало более длительному сохранению консистенции, внешнего вида, цвета и запаха в сравнении с контрольным образцом. Также, такие показатели, как КМАФАнМ и кислотное число оставались в пределах нормы даже на 4-й день хранения, что говорит о положительном влиянии добавок на мясные полуфабрикаты.

В торговле мясные полуфабрикаты (котлеты) при температуре от 0° С до плюс 4° С хранятся не более 48 часов. Внесение в котлеты добавок «ДФ», «ДФП» и «Оптима-1» в количестве 3% и куркумы в количестве 1% от общей котлетной массы снижает скорость протеолиза белков и дезаминирование аминокислот, что в свою очередь позволяет сохранить хорошее качество в течение 4-х суток по сравнению с контрольным образцом без добавок, качество которого ухудшилось уже на вторые сутки. Лучшими потребительскими свойствами в течение хранения при положительной температуре обладали котлеты с добавкой «Оптима-1».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Henrik Blichfeldt, Rita Faullant Performance effects of digital technology adoption and product & service innovation – A process-industry perspective // Technovation, Volume 105. – July 2021. – 102275. – <https://doi.org/10.1016/j.technovation>. – 2021. – 102275.
- Jose Waimin, Sarath Gopalakrishnan, Ulisses Heredia-Rivera, Nicholas A. Kerr Low-Cost Nonreversible Electronic-Free Wireless pH Sensor for Spoilage Detection in Packaged Meat Products // ACS Appl. Mater. Interfaces 2022. – 14. – 40. – 2021. – P. 45752–45764. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.2c09265>.
- Qian-Yun Han, Xin Wen, Jing-Yu Gao, Chong-Shan Zhong, Yuan-Ying Ni Application of plasma-activated water in the food industry: A review of recent research developments // Food Chemistry. – 2022. – 405. – 134997. – <https://doi.org/10.1016/j.foodchem>. – 2022. – 134797.
- Nitya Bhargava, Rahul S Mor, Kshitiz Kumar, Vijay Sin-

gh Sharanagat Advances in application of ultrasound in food processing: A review Ultrasonics Sonochemistry // Ultrasonics Sonochemistry. – 2020. – 70:105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>.

5. Kurćubić, V., Stajić, S., Miletić, N., Stanišić, N., Healthier Meat Products Are Fashionable-Consumers Love Fashion // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – 12. – 19. <https://doi.org/10.3390/app121910129>.

6. Гордынец С.А., Калтович И.В., Яхновец Ж.А., Прокопьев Н.А. Эффективность влияния различных композиций на формирование окраски мясopодуKтов с пониженным содержанием нитрита натрия // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сыpья. – 2017. – 1. – С. 1-2.

7. Raseta M., Mrdovic B., Yankovic V., Prevalence and antibiotic resistance of Salmonella spp. in meat products, meat preparations and minced meat // 59TH INTERNATIONAL MEAT INDUSTRY CONFERENCE MEATCON2017. – 2017. – 85. – С.13-21.

8. Asfondiarova I.V., Dybkova N.V., Katkova N.M., Callaway J., Evaluation of the quality of enriched meat products and the possibility of its application in the fitness industry // Materials Science and Engineering. – 2020. – doi:10.1088/1757-899X/940/1/012075.

9. Белова Л.В., Карцев В.В., Федотова И.М., Современные представления о порче пищевой продукции и мерах по ее предотвращению // Профилактическая и клиническая медицина. – 2017. – 1. – С. 22-25.

10. Насыров Х.А., Дроздова Е.А., Исследование микробной обсемененности мясных продуктов различной степени переработки // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – 4. – С. 419-421.

11. A. Hurtado-Romero, Mariano Del Toro-Barbosa Innovative technologies for the production of food ingredients with prebiotic potential: Modifications, applications, and validation methods // Computer Science:Trends in Food Science and Technology. – 2020. – doi:10.1016/j.tifs.2020.08.007.

12. Irina Asfondiarova Vera Demchenko, Nina Katkova, Marina Ivanova and Elena Belokurova The possibility of using lactic additives and sonochemical technology in the production of preserves // E3S Web of Conferences, Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering 2019. – Vol. 164. – 06012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016406012>.

13. Anna Vinogradova, Olga Kotomenkova, Nina Pankova and Denis Kotomenkov, Identification of goods made of valuable wool sorts with the use of remote technologies // Materials Science and Engineering. – 2019. – doi 10.1088/1757-899X/497/1/012113.

14. Sukander EE., Adnaiana I. Antioxidant Potential Of Garlic And Turmeric Mixture-A Traditional Indonesian Formulation / Indian Journal Of Traditional Knowledge. – 2016. – 45. – С. 632-636.

15. Irina Asfondiarova, Vera Demchenko, Nina Katkova, Marina Ivanova and Elena Belokurova, The possibility of using lactic additives and sonochemical technology in the production of preserves // E3S Web of Conferences, Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, 2019. – 164: 06012. – doi:10.3390/antiox9020090.

16. Xinhui Wang, Xingxuan Che, Fang Fang, Yongping Wen, Yang Liu. Effects of sodium lactate on glycolytic activity and color stability of fresh beef during chilled storage // Food Sci. Technol 42. – 2022. – <https://doi.org/10.1590/fst.89622>.

17. Yang Liu, Tian Tian, Xinhui Wang, Shelf-life extension of chilled beef by sodium lactate enhanced with Natamycin against discoloration and spoilage // Food Sci. Technol 42. – 2022. – <https://doi.org/10.1590/fst.30522>.

18. Пономарев А. С., Пастушкова Е. В., Чугунова О. В. Использование пищевых ингредиентов растительного происхождения в технологии мясных рубленых полуфабрикатов // FOOD INDUSTRY. – 6. – 3. – 2021. – С. 109-119.

19. ГОСТ 32951-2014 «Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия» [Текст] – М.: Стандартинформ. – 2014 – С. 3-10.

20. ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013 – С. 23-29.

Статья поступила в редакцию 07.12.2022

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 664

EDN: DEAIWC

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И РЕЦЕПТУРЫ ДОЛМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯСА КРЕВЕТОК

© Автор(ы) 2023

SPIN: 1079-1520

AuthorID: 833085

ORCID: 0000-0002-2743-0305

ResearcherID: HKW-3508-2023

ScopusID: 23977123600

ЗАЧЕСОВА Инесса Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры Товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения имени С.А. Каспарьянца *Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина (109472, Россия, Москва, ул. Академика Скрябина, 23, e-mail: inessa_zachesova@mail.ru)*

SPIN: 3135-2987

AuthorID: 778112

ORCID: 0000-0002-1271-4030

ResearcherID: HKW -3549-2023

ScopusID: 57220032548

ШАГАЕВА Наталья Николаевна, старший преподаватель кафедры Товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения имени С.А. Каспарьянца *Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина (109472, Россия, Москва, ул. Академика Скрябина, 23, e-mail: nata-shag@yandex.ru)*

SPIN: 776862

AuthorID: 7950-5466

ORCID: 0000-0003-3654-4440

ResearcherID: L-1594-2018

ScopusID: 57220034797

ГОРБАЧЕВА Мария Владимировна, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой Товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения имени С.А. Каспарьянца *Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина (109472, Россия, Москва, ул. Академика Скрябина, 23, e-mail: gmv76@bk.ru)*

ORCID 0000-0002-5249-8205

ПОГОСЯН Лиа Гайковна, магистрант факультета «Товароведение и экспертиза сырья животного» *Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина (109472, Россия, Москва, ул. Академика Скрябина, 23, e-mail: lia.pogosyan.1999@mail.ru)*

Аннотация. Разработана технология и рецептура долмы с использованием мяса креветок. Проведен анализ научно-технической литературы в области производства полуфабрикатов из морепродуктов, в результате которого установлено, что производство данных видов продуктов является перспективным направлением для предприятий рыбоперерабатывающей отрасли и общественного питания. Представлено обоснование выбора сырья для производства долмы, которое показало, что мясо креветок и виноградные листья имеют высокую пищевую ценность, а следовательно, являются ценными сырьевыми продуктами для производства полуфабрикатов. В лабораторных условиях были изготовлены образцы долмы с содержанием мяса креветок 60%, 50%, 40% от массы сырья. Показатели качества долмы определяли органолептическими и физико-химическими методами. В результате исследования установлено, что добавление в рецептуру долмы различного количества мяса креветок, не оказывает влияния на внешний вид полуфабриката. В результате 9-балльной оценки качества долмы, установлено, что образец с 60% содержанием мяса креветок получил самую высокую оценку – 8,4 балла, долма становится более сочной, нежной, в отличие от других образцов. При оценке образца с содержанием мяса креветок 40% баллы были снижены за вкус, консистенцию и сочность. В результате чего, образец получил оценку 7,6 балла, что характеризует его качество как хорошее. Общая оценка образца с содержанием мяса креветок 50% составила 7,8 балла, что показывает его хорошее качество. Баллы были снижены за консистенцию и сочность. Исследование физико-химических показателей качества долмы показало, что образец с 60% мяса креветок содержит самое большое количество белка и низкое количество углеводов по сравнению с другими образцами долмы, что характеризует его как продукт с более высокой пищевой ценностью. В результате органолептических и физико-химических исследований установлено, что оптимальным количеством внесения мяса креветок в рецептуру долмы является 60 % от массы сырья.

Ключевые слова: долма, мясо креветок, фаршированный полуфабрикат из морепродуктов, рецептура, морепродукты, рецептура, технология.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND FORMULATION OF DOLMA USING SHRIMP MEAT

© The Author(s) 2023

ZACHESOVA Inessa Alexandrovna, senior lecturer of the department of commodity

Science, technology of raw materials and products of animal and plant origin named after S.A. Kaspariyants

SHAGAEVA Natalia Nikolaevna, senior lecturer of the department of commodity Science, technology of raw materials and products of animal and plant origin named after S.A. Kaspariyants**GORBACHEVA Maria Vladimirovna**, doctor of technical sciences, associate professor, head of the department of commodity Science, technology of raw materials and products of animal and vegetable origin named after S.A. Kaspariyants**POGOSYAN Lia Gaykovna**, master's student of the faculty commodity

Science and expertise of raw materials of animal origin

*Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin
(109472, Russia, Moscow, str. Akademika Skryabina, 23,**e-mail: inessa_zachesova@mail.ru, nata-shag@yandex.ru, gmv76@bk.ru, lia.pogosyan.1999@mail.ru)*

Abstract. The technology and formulation of dolma using shrimp meat has been developed. The analysis of scientific and technical literature in the field of production of semi-finished seafood products was carried out, as a result of which it was established that the production of these types of products is a promising direction for enterprises of the fish processing industry and public catering. The justification of the choice of raw materials for the production of dolma is presented, which showed that shrimp meat and grape leaves have a high nutritional value, and therefore are valuable raw materials for the production of semi-finished products. Dolma samples with shrimp meat content of 60%, 50%, 40% of the raw material weight were made in laboratory conditions. Dolma quality indicators were determined by organoleptic and physico-chemical methods. As a result of the study, it was found that the addition of various amounts of shrimp meat to the dolma recipe does not affect the appearance of the semi-finished product. As a result of a 9-point assessment of the quality of the dolma, it was found that the sample with 60% shrimp meat content received the highest score – 8.4 points, the dolma becomes more juicy, tender, unlike other samples. When evaluating a sample with a shrimp meat content of 40%, scores were reduced for taste, consistency and juiciness. As a result, the sample received a score of 7.6 points, which characterizes its quality as good. The overall assessment of the sample with a shrimp meat content of 50% was 7.8 points, which shows its good quality. Scores were lowered for consistency and juiciness. A study of the physico-chemical indicators of the quality of dolma showed that a sample with 60% of shrimp meat contains the largest amount of protein and a low amount of carbohydrates compared to other dolma samples, which characterizes it as a product with a higher nutritional value. As a result of organoleptic and physico-chemical studies, it was found that the optimal amount of adding shrimp meat to the dolma recipe is 60% of the mass of raw materials.

Keywords: dolma, shrimp meat, stuffed semi-finished seafood, recipe, seafood, recipe, technology.

Для цитирования: Зачесова И.А. Разработка технологии и рецептуры долмы с использованием мяса креветок / И.А. Зачесова, Н.Н. Шагаева, М.В. Горбачева, Л.Г. Погосян // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 78-84. – EDN: DEAIWC.

Введение. В рационе современного человека белок рыбы и морепродуктов составляет не более 20% от общего количества, потребляемого им белков животного происхождения. Морепродукты являются богатым источником полноценного и легкоусвояемого белка, основным источником полиненасыщенных жирных кислот; витаминный и минеральный состав таких продуктов богаче и разнообразнее, чем в мясе традиционных сельскохозяйственных животных.

Среди морепродуктов креветки пользуются неизменным спросом у российского потребителя. Спрос на данный вид неизменно растет на 15-20% в год [1], что связано с их исключительной ценностью в пищевом отношении. В мясе креветки содержится значительное количество белка (от 13,8 до 20,6%), отличающегося высоким содержанием лизина и лейцина, которые участвуют в метаболических реакциях мышечной ткани организма; 44,7% аминокислот этого белка незаменимы [2]. Данный вид ракообразных выгодно отличается от других представителей дан-

ного подтипа тем, что содержит незначительное количество липидов 0,3 – 2,5%, что позволяет отнести его к низкокалорийной пище. Жирные кислоты липидов представлены на 22,9% полиненасыщенными жирными кислотами, способными влиять на жировой обмен веществ в организме человека [2]. Помимо белка и жира в креветках содержатся минеральные вещества: йод, кобальт, марганец, молибден, магний, натрий, кальций, калий и витамины: A, D, E, C, PP, B. Богатый минеральный и витаминный состав, высокая биологическая ценность белка положительно влияют на здоровье человека [2-4].

В настоящее время российский рынок продуктов из креветок представлен нешироким ассортиментом замороженных сырых и вареных креветок, консервами и пресервами. [1, 3, 4].

Учитывая вышеизложенное, считаем, что мясо креветок является ценным сырьем для производства полуфабрикатов, которые пользуются постоянным спросом у потребителей, особенно у жителей

больших городов, которым свойственен быстрый жизненный ритм, и они не могут тратить много времени на приготовление пищи, но в то же время к питанию предъявляются высокие требования с точки зрения пользы для организма. Одним из перспективных видов полуфабрикатов для пищевой промышленности является долма, являющаяся национальным блюдом армянской, арабской, вьетнамской и других кухонь народов мира. Долма представляет собой овощи или листья (в основном виноградные), начиненные традиционно рубленным мясом с рисом, однако начинки могут быть различными. В качестве основного сырья при производстве долмы чаще всего используют говядину, свинину, баранину [5, 6]. Наличие в составе долмы виноградных листьев придает ей дополнительную пищевую ценность. Содержащиеся витамины группы *B, K, A, E, PP*, аскорбиновая кислота, бета-каротин в виноградных листьях способны оказывать положительный эффект на организм человека при их употреблении в пищу. Например, витамин *A*, придает листьям антиоксидантные свойства, способные замедлить процесс старения, позволяющие выводить из организма шлаки и токсины [8, 9]. Кроме того, целебные свойства листьев винограда усиливаются содержанием микроэлементов *Na, Mg, P, Ca, K* и макроэлементов *Fe, Cu, Zn, Mn, Se* [6, 7]. В пищевой промышленности используются различные рецепты и способы производства долмы с применением различного сырья животного и растительного происхождения. Известна рецептура консервов «Исмалок долма», включающих в свой состав компоненты, мас.ч.: баранину 513,87-562,43, сливочное масло 36,23, репчатый лук 250,71-253,93, рис 44,64, шпинат 157,14, соль 12, перец черный горький 0,3, костный бульон до выхода целевого продукта 1000 [10, 11].

Известна рецептура консервов «Каваток долма», включающих в свой состав баранину, топленое масло, репчатый лук, виноградные листья, соль, перец черный, костный бульон [12].

Рецептура кулинарного изделия «Толма», включает в свой состав следующие компоненты, мас.ч.: баранина 500, виноградные листья 70, рис 45, репчатый лук 300, чеснок 50, кинза 15, петрушка 15, базилик 15, чабрец 30, мята 45, черный перец 0,4 [13].

Также известны рецепты консервов с использованием в качестве основного сырья морепродуктов. Рулева Т.А. и Сарбатова Н.Ю. в качестве консервов предлагают кальмар, фаршированный тушеной в молоке белокочанной капустой, с рубленным яйцом и жареным луком. Перед укладкой в тару фаршированный кальмар обжаривают и тушат в сметанном соусе в течение 20-30 минут [14].

Квасенко О.А. и Михалков В.Ю. разработали новую рецептуру производства консервов «Креветки с капустой и молочным соусом». В качестве рецептурных ингредиентов предложено использовать креветки, топленое масло, декоративную капусту,

пшеничную муку, молоко, сахар, соль, перец черный, лавровый лист, рыбный бульон [15].

Подводя итоги, можно отметить, что производство полуфабрикатов из морепродуктов является перспективным направлением для предприятий рыбоперерабатывающей отрасли и общественного питания.

Методология. Цель данного исследования заключается в разработке рецептуры долмы из мяса креветок.

В лабораторных условиях были выработаны образцы долмы по разработанной технологии и рецептуре. Для изготовления образцов долмы за основу была взята рецептура долмы с бараниной. Сырьем для изготовления образцов долмы служили креветки варено-мороженые неразделанные, крупа рисовая, сливочное масло, соль поваренная пищевая, перец черный молотый. Мясо креветок использовали в количестве 60% (образец №1), 50% (образец №2) и 40% (образец №3) от массы сырья. После изготовления образцов долмы исследовали их показатели качества для выявления продукта с наиболее высокими потребительскими свойствами. Для этого применяли органолептические (описательный и дегустационная оценка) и физико-химические методы. Дегустацию проводила дегустационная комиссия, состоящая из пяти дегустаторов. Дегустация была закрытой. Дегустационную оценку образцов долмы проводили по 9-балльной шкале [16]. Физико-химические методы применяли для определения массовой доли влаги, жира, белка, соли, золь в соответствии с ГОСТ 7636. Массовую долю углеводов определяли расчетным методом («методом разницы»), при котором из содержания сухого остатка вычитали сумму содержания белка, жира, золь и получали количество всех углеводов.

Результаты. Рецептура долмы представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура долмы из мяса креветок

Сырье, кг на 100 кг сырья	Образец		
	№ 1	№ 2	№ 3
Для начинки:			
Мясо креветки	60	50	40
Рис отварной	20	30	40
Сливочное масло	10	10	10
Вода питьевая	8	8	8
Соль поваренная пищевая	1	1	1
Перец черный молотый	1	1	1
Итого:	100	100	100
Для формовки:			
Виноградные листья	100		
Итого:	100		

Расчет сырья для производства 100 кг долмы из мяса креветок без учета потерь представлен в таблице 2.

При производстве 100 кг долмы из мяса креветок,

количество сырья рассчитывали с учетом потерь: для креветок – 40%, для крупы рисовой – 1%, для сливочного масла – 0,3%, для виноградных листьев – 0,2%.

Расчет сырья для производства 100 кг долмы из мяса креветок с учетом потерь представлен в таблице 3.

Таблица 2 – Расчет сырья для производства 100 кг долмы из мяса креветок без учета потерь

Сырье, кг на 100 кг сырья	Образец		
	№ 1	№ 2	№ 3
Мясо креветки	56,6	47,2	37,7
Рис отварной	18,9	28,3	37,7
Сливочное масло	9,4	9,4	9,4
Вода питьевая	7,5	7,5	7,5
Соль поваренная пищевая	0,9	0,9	0,9
Перец черный молотый	0,9	0,9	0,9
Виноградные листья	5,7	5,7	5,7
Итого	100,0	100,0	100,0

Таблица 3 – Расчет сырья для производства 100 кг долмы из мяса креветок с учетом потерь

Сырье, кг на 100 кг сырья	Образец		
	№ 1	№ 2	№ 3
Креветки неразделанные замороженные	79,2	66,0	52,8
Крупа рисовая	9,5	14,3	19,0
Сливочное масло	9,5	9,5	9,5
Вода питьевая	17,0	22,0	26,4
Соль поваренная пищевая	0,9	0,9	0,9
Перец черный молотый	0,9	0,9	0,9
Виноградные листья	5,7	5,7	5,7
Итого	122,8	119,3	115,3
Выход продукта	100		

Производство долмы осуществляли в соответствии с технологической схемой, представленной на рисунке 1. Аппаратно-технологическая схема производства долмы из мяса креветок представлена на рисунке 2.

Приемка сырья. На производстве все поступающие партии сырья имеют свои сопроводительные документы, на основании которых ведется его приемка.

Подготовка сырья. Поступившее на предприятие сырье размораживают. Размораживание креветок производят в помещении с температурой 18°C и относительной влажностью воздуха 90% в течение 30 мин проточной водой в специальной ванне (5). В сетчатых корзинах происходит стекание с креветок воды. Затем проводят сортировку по внешнему виду. Креветки должны иметь свойственный данному виду цвет и размер, ровную и чистую поверхность. Далее их направляют для ручной разделки на разделочный стол (6).

Виноградные листья для приготовления долмы подбирают одного размера с ровной без повреждений поверхностью, диаметром не менее 20 см. Далее отправляют в машину для запаривания (2). Виноградные листья охлаждают на сетчатом столе (3), срезают черешок, разбирают, сортируют.

Сливочное масло поступает на предприятие в монолите. Масло нарезают на разделочном столе (13) на куски и затем отепляют до температуры 18°C.

Соль и молотый перец отправляют в просеиватель (9) и используют в сухом виде [16].

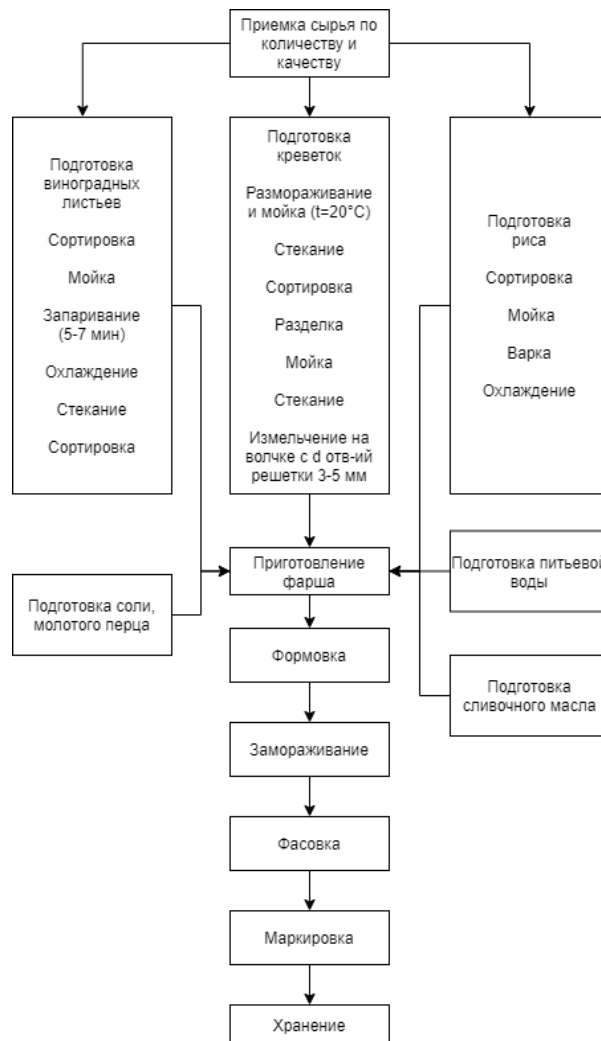


Рисунок 1 – Технологическая схема производства долмы из мяса креветок

Обработка сырья. Креветки промывают водой температурой +18°C, 2-3 минуты. Затем креветки измельчают на волчке (7) с диаметром отверстия решетки 3-5 мм.

Крупу рисовую варят до полуготовности. Для этого рис сортируют и промывают в проточной воде на рабочем столе (1) в течение 10 мин, загружают в кипящую воду в электрокотел (8) в соотношении 1:2. Варят до полуготовности 10-12 мин и отправляют на охлаждение (4), с помощью проточной воды, температура которой составляет 15-18°C.

Составление фарша. Измельченные креветки по-

дают в фаршемешалку (10) периодического действия, добавляют рисовую крупу, сливочное масло, воду, соль и черный молотый перец и тщательно перемешивают всю массу в течение 4-6 мин до образования однородной массы [17].

Формование. Подготовленный фарш направляют для ручной формовки на специальное оборудование – долмер (11). Формуют долму массой 40 г. Затем направляют в камеру заморозки (12) на 2 ч при температуре 45-50°C.

Фасовка, маркировка, хранение. Фасуют готовый полуфабрикат в специальные контейнера, из упаковочного ламината, укупоривают термосвариваемой пленкой с барьерным покрытием. Долму хранят на предприятиях и в торговой сети при температуре -18°C. Сроки хранения и реализации не более 1 месяца [17].

Результаты исследований органолептических показателей качества образцов долмы представлены в таблице 4.

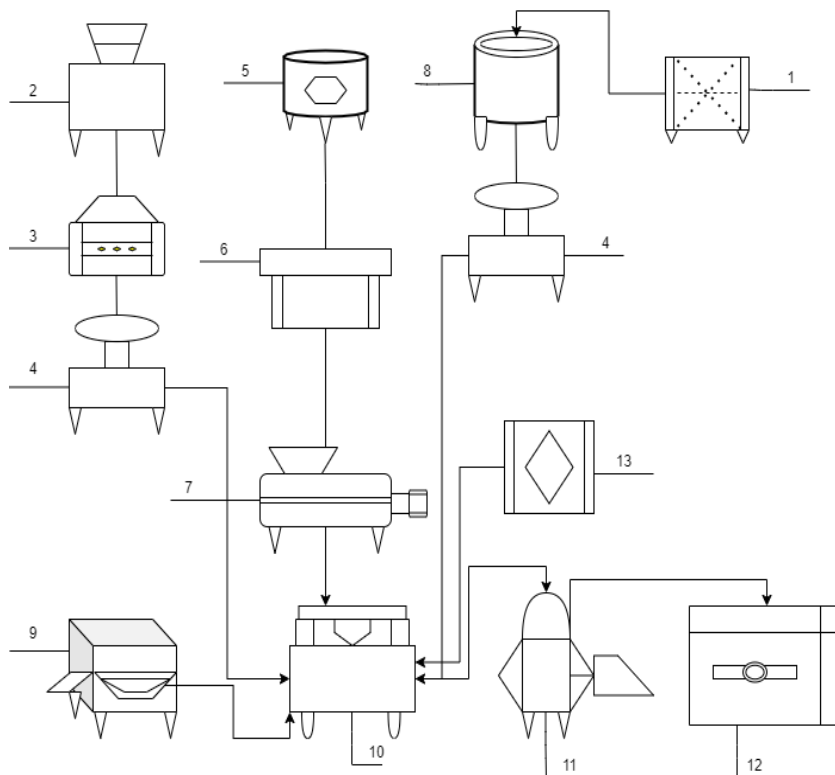


Рисунок 2 – Аппаратно-технологическая схема производства долмы из мяса креветок
 1 – рабочий стол; 2 – машина для запаривания виноградных листьев; 3 – сетчатый стол; 4 – рабочий стол; 5 – ванна; 6 – разделочный стол; 7 – волчок; 8 – электрокотел; 9 – просеиватель; 10 – фаршемешалка; 11 – долмер; 12 – камера заморозки, 13 – разделочный стол

Таблица 4 – Органолептические показатели качества долмы из мяса креветок

Наименование показателя	Образец		
	№ 1	№ 2	№ 3
Внешний вид	Долма недеформированная, имеет форму прямоугольника, начинка не выступает. Цвет оболочки из виноградных листьев темно-зеленый.	Долма недеформированная, имеет форму прямоугольника, начинка не выступает. Цвет оболочки из виноградных листьев темно-зеленый.	Долма недеформированная, имеет форму прямоугольника, начинка не выступает. Цвет оболочки из виноградных листьев темно-зеленый.
Вид на разрезе	Начинка в оболочке из виноградных листьев, имеющая вид однородной равномерно перемешанной массы, состоящей из измельченного мяса креветки, с включениями риса. Цвет начинки розовый с белыми вкраплениями риса.	Начинка в оболочке из виноградных листьев, имеющая вид однородной равномерно перемешанной массы, состоящей из измельченного мяса креветки, с включениями риса. Цвет начинки розовый с белыми вкраплениями риса.	Начинка в оболочке из виноградных листьев, имеющая вид однородной равномерно перемешанной массы, состоящей из риса с включениями измельченного мяса креветки. Цвет начинки белый с розовыми вкраплениями мяса креветки.
Консистенция	Сочная, мягкая, нежная, но не разварившаяся. Сохранена упругость	Достаточно сочная. Мягкая, нежная, но не разварившаяся. Сохранена упругость	Недостаточно сочная. Мягкая, но не разварившаяся. Сохранена упругость
Запах и вкус	Свойственные данному виду продукта, с ярко выраженным запахом мяса креветок, без посторонних привкуса и запаха	Свойственные данному виду продукта, с достаточно выраженным запахом мяса креветок, без посторонних привкуса и запаха	Свойственные данному виду продукта, с недостаточно выраженным запахом мяса креветок, без посторонних привкуса и запаха

Из данных таблицы 4 видно, что добавление в рецептуру долмы, различного количества мяса креветок, не оказывает влияния на внешний вид полуфабриката.

Установлено, что при добавлении 60% мяса креветок, начинка долмы становится более сочной, нежной, в отличие от других образцов.

Результаты дегустационной оценки долмы из мяса креветок по 9-балльной шкале приведены на рисунке 3.

В результате 9-балльной оценки качества долмы установлено, что образец долмы с 60% содержанием мяса креветок получил самую высокую оценку – 8,4

балла (рис. 3).

При оценке образца № 3, содержание мяса креветок, в котором составляет 40%, баллы были снижены за вкус, консистенцию и сочность. В результате чего, образец № 3 получил оценку 7,6, что характеризует его качество как хорошее.

Общая оценка образца № 2, содержание мяса креветок в котором составляет 50%, составила 7,8, что показывает его хорошее качество. Баллы были снижены за консистенцию и сочность.

Результаты физико-химических исследований образцов долмы из мяса креветок представлены на рисунке 4.

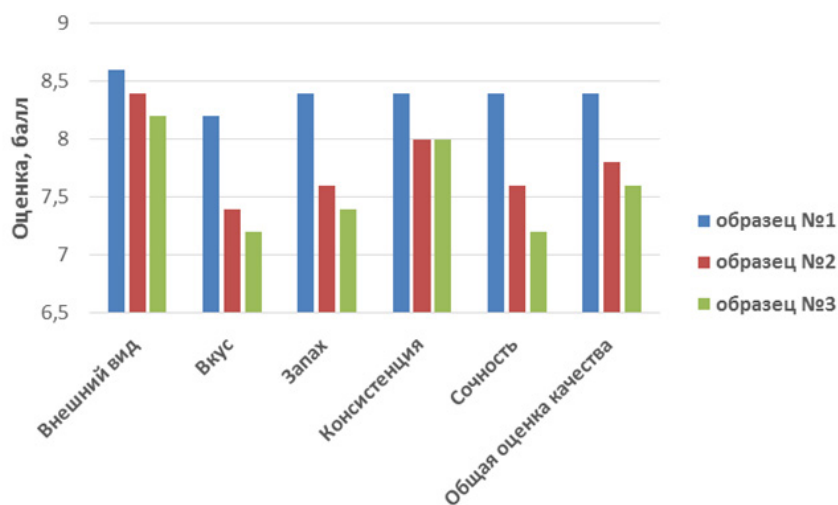


Рисунок 3 – Дегустационная оценка качества долмы из мяса креветок по 9-балльной шкале

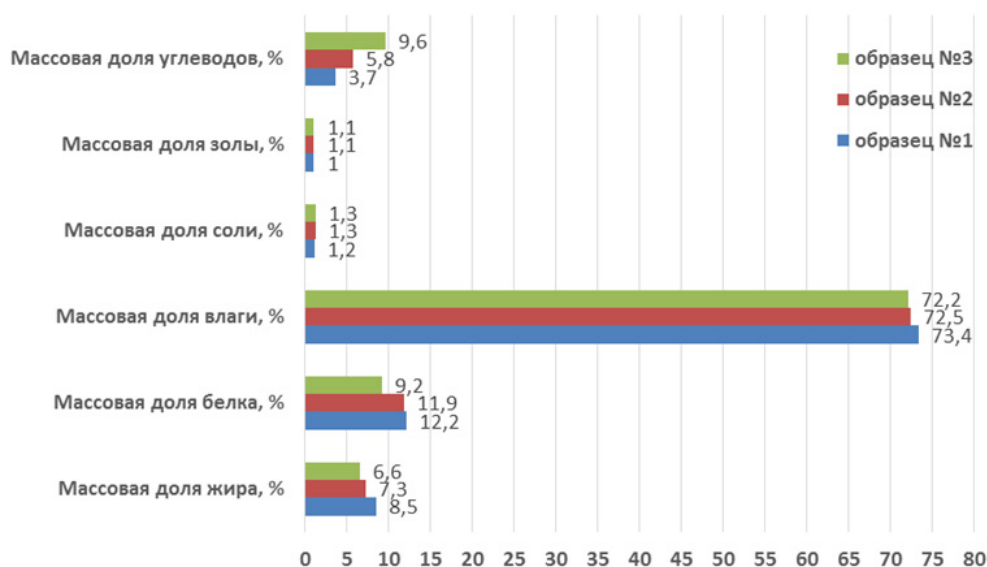


Рисунок 4 – Физико-химические показатели качества долмы из мяса креветок

Из данных рисунка 4 видно, что добавление мяса креветок и риса способствует изменению физико-химических показателей качества долмы, а именно количество жира и белка уменьшается по мере увеличения количества риса в образце № 2 на 14,1% и 2,5% соответственно, в образце № 3 на 22,4% и 24,6%

соответственно. Образец № 1 содержит самое большое количество белка и низкое количество углеводов по сравнению с образцами № 2 и № 3, что характеризует его как продукт с более высокой пищевой ценностью. Содержание углеводов увеличилось в образце № 2 в 1,6 раза, в образце № 3 в 2,6 раза по отношению к

образцу № 1.

Обсуждение. Исследование органолептических показателей образцов долмы показало, что образец №1 получил самую высокую оценку 8,4 балла. В результате физико-химических исследований установлено, что образец №1 содержит большее количество белка 12,2%, жира 8,5%, влаги 73,4 и меньшее количество углеводов 3,7% по сравнению с другими образцами долмы. Из полученных данных можно сделать вывод, что оптимальным количеством внесения мяса креветок в рецептуру долмы является 60% от массы сырья.

Выводы. В результате проведенных исследований была разработана рецептура долмы с мясом креветок. Установлено, что введение в рецептуру долмы 60% мяса креветок от массы основного сырья позволило получить продукт с высокими потребительскими свойствами, что позволит расширить ассортимент продуктов из данного вида морепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пищевая и биологическая ценность мяса креветок промысла и аквакультуры: функциональные пищевые продукты / Н.Г. Строкова, Н.В. Семикова, Т.В. Родина, А.В. Подкорытова // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 122-128.
2. Исследование пищевой ценности мяса креветки *Raiaemon adpersus* / О.Е. Битютская, О.И. Лавриненко, А.В. Рейнгард, Л.Г. Коротенко // V международный Балтийский морской форум: материалы форума, Калининград, 21–27 мая 2017 года / Составитель Кострикова Н.А. – Калининград: Обособленное структурное подразделение «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет», 2017. – С. 1297-1302.
3. Дуборасова, Т.Ю. Формирование улучшенных потребительских свойств креветок мороженых путём совершенствования характеристик поверхностной ледяной глазури / Т.Ю. Дуборасова, С.В. Колобов, Е.Ю. Осипенко // Эколого-биологическое благополучие растительного и животного мира: Тезисы докладов международной научно-практической конференции, Благовещенск, 23 сентября 2020 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. – С. 173-174.
4. Иванова, В.Ю. Ассортимент и классификация морепродуктов / В.Ю. Иванова, Т.В. Реусова, Г.А. Хакимова // Научные и практические основы в области товароведения, технологии, организации коммерческой деятельности и экологии: Материалы национальной научно-практической конференции «Научные и практические основы в области товароведения, технологии, организации коммерческой деятельности и экологии» – 10 июня 2019 г., Москва, 10 июня 2019 года / ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА имени К.И. Скрябина. – Москва: ЗооВетКнига, 2019. – С. 46-50.
5. Богданова, М.В. Национальные блюда Северного Кавказа / М.В. Богданова, М.А. Панфилин // Кавказский диалог: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, Невинномысск, 27 ноября 2020 года / ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт». – Невинномысск: Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт, 2020. – С. 38-41.
6. Атакулова Д.Т. Польза нетрадиционного сырья листьев винограда при употреблении для организма человека и используемых из них популярных блюд как долма / Д.Т. Атакулова, А.С. Джавланова, Д.М. Бахридина // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. – 2019. – № 5(17). – С. 11-13.
7. Атакулова, Д.Т. Исследование минерального состава виноградных листьев / Д.Т. Атакулова, К. О. Додаев // Universitas: технические науки. – 2021. – № 12-4(93). – С. 9-12.
8. Мартемьянова Л.Е. Виноградные листья в производстве замороженных полуфабрикатов / Л.Е. Мартемьянова, С.А. Коновалов, В.Д. Режун // Современные достижения биотехнологии. Актуальные проблемы молочного дела: материалы V Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 21–23 октября 2015 года / Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. – С. 274-275.
9. Виноградный лист и способы его консервирования / Г.Н. Терентьева, В.Ф. Каражия, Л.Д. Юшан [и др.] // Овощи России. – 2014. – № 1(22). – С. 64-67.
10. Зачесова, И.А. Разработка рецептуры паштета из креветок с использованием пшеничной клетчатки / И.А. Зачесова, С.А. Страхова, А.А. Кузина // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 2(143). – С. 139-143.
11. Патент № 2322845 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/314, А23L 3/00. Способ производства консервов «Исмалок долма»: № 2006133031/13: заявл. 15.09.2006: опубл. 27.04.2008 / О.И. Квасенков.
12. Патент № 2322859 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/314, А23L 3/00. Способ производства консервов «Каваток долма»: № 2006133026/13: заявл. 15.09.2006: опубл. 27.04.2008 / О.И. Квасенков.
13. Похлебкин, В.В. Национальные кухни наших народов / В.В. Похлебкин – Москва: Центрполиграф, 2004. – 638 с. – (Классика кулинарного искусства). – ISBN 5-9524-0718-8.
14. Патент РФ №2582108369 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/333, 02.15.2015. Способ приготовления консервов «Кальмар, фаршированный белокачанной капустой, луком и яйцом»: № 2013121373/02: заявл. 13.05.2013: опубл. 27.03.2014 / Т.А. Рулева, Н.Ю. Сарбатова.
15. Патент № 2510227 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/33, А23L 3/00. Способ производства консервов «Креветки с капустой в молочном соусе»: № 2013119577/02: заявл. 29.04.2013: опубл. 27.03.2014 / О.И. Квасенков, А.Н. Петров.
16. Заворохина, Н.В. Сенсорный анализ продовольственных товаров на предприятиях пищевой промышленности, торговли и общественного питания: учебник / Н.В. Заворохина, О.В. Голуб, В.М. Позняковский. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 172 с.
17. Климова Д.И. Разработка технологии производства долмы / Д.И. Климова // Научные труды студентов Ижевской ГСХА: сборник статей: электронный ресурс / ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – С. 645-647.

Статья поступила в редакцию 25.12.2022

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 331.451
EDN: DHYRSA

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА С УЧЕТОМ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ

© Автор(ы) 2023
SPIN: 2874-8742
Author ID: 989099
ORCID: 0000-0002-9666-2265
Scopus ID: 6508058913

НАРУСОВА Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент
кафедра «Управление безопасностью в техносфере»
Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: e.narusova@ubt-rut-miit.ru)

ORCID: 0000-0003-3518-8560

НИКУЛИН Константин Сергеевич, кандидат технических наук
кафедра «Водные пути, порты и портовое оборудование»
Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: k.s.nikulin@mail.ru)

SPIN: 2200-4594
Author ID: 716274
ORCID: 0000-0002-1563-3850
Scopus ID: 5722004297

СТРУЧАЛИН Владимир Гайозович, кандидат технических наук, доцент
кафедра «Управление безопасностью в техносфере»
Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: v.struchalin@ubt-rut-miit.ru)

Аннотация. Статья посвящена повышению безопасности труда в строительной отрасли на основе снижения техногенного риска при эксплуатации перегрузочной техники с учетом срока ее работы. Сопоставляются показатели Росстата по износу основных фондов и производственному травматизму в строительстве. Отмечается, что степень износа и показатели производственного травматизма из расчета на 1000 работников в отрасли превышают средние показатели по Российской Федерации в целом. Констатируется, что при анализе статистических данных о случаях производственного травматизма и изучении причин аварий, отказов в разных отраслях экономики выявляется значительная доля причин, связанных с задействованной в эксплуатации перегрузочной техникой. Поскольку в связи со старением находящегося в эксплуатации парка перегрузочных машин возрастают динамические нагрузки и возникают усталостные повреждения элементов приводов, увеличивается риск аварийных ситуаций и случаев производственного травматизма. Выполнено исследование колебательных процессов в технической системе; полученная динамическая картина одинакова для всех грузоподъемных машин, работающих в старт-стопных режимах. Обсуждаются пути повышения эксплуатационной надежности и безопасности работы оборудования. Уточнение математической модели рассматриваемой механической системы позволит произвести расчет ее узлов с учетом колебательных процессов и факторов, влияющих на ее работу.

Ключевые слова: безопасность труда; условия труда, производственный травматизм, техногенный риск, старение технических систем, срок эксплуатации, риск аварийных ситуаций, математическая модель.

IMPROVING OCCUPATIONAL SAFETY TAKING INTO ACCOUNT THE SERVICE LIFE RELOADING EQUIPMENT

© The Author(s) 2023

NARUSOVA Elena Yurievna, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department “Management of safety in a technosphere”
NIKULIN Constantin Sergeevich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department “Waterways, ports and port equipment”
STRUCHALIN Vladimir Gaiozovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department “Management of safety in a technosphere”
Russian University of Transport

(127994, Russia, Moscow, Obratsov St. 9, building 9,
e-mail: e.narusova@ubt-rut-miit.ru, k.s.nikulin@mail.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru)

Abstract. The article is devoted to improving labor safety in the construction industry by reducing the technogenic risk during the operation of reloading equipment, taking into account the duration of its operation. The indicators of Rosstat on depreciation of fixed assets and industrial injuries in construction are compared. It is noted that the degree of wear and indicators of occupational injuries per 1,000 workers in the industry exceed the average for the Russian Feder-

ation as a whole. It is stated that when analyzing statistical data on cases of industrial injuries and studying the causes of accidents, failures in various sectors of the economy, a significant proportion of the causes associated with the handling equipment involved in operation are revealed. Since due to the aging of the fleet of reloading machines in operation, dynamic loads increase and fatigue damage to drive elements occurs, the risk of accidents and industrial injuries increases. The study of oscillatory processes in the technical system has been carried out; the obtained dynamic picture is the same for all lifting machines operating in start-stop modes. The ways of improving the operational reliability and safety of the equipment are discussed. The refinement of the mathematical model of the mechanical system under consideration will make it possible to calculate its nodes taking into account oscillatory processes and factors affecting its operation.

Keywords: occupational safety, working conditions, industrial injuries, technogenic risk, aging of technical systems, service life, risk of accidents, mathematical model.

Для цитирования: Нарусова Е.Ю. Повышение безопасности труда с учетом срока эксплуатации перегрузочной техники / Е.Ю. Нарусова, К.С. Никулин, В.Г. Стручалин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 85-89. – EDN: DHYRSA.

Введение. Техническое состояние основных фондов, к которым относятся производственные здания, оборудование, машины и транспортные средства, во многом определяет условия труда, которые, в свою очередь, влияют на работоспособность, здоровье и безопасность работника. Анализируя статистические данные о травматизме и профессиональной заболеваемости и сопоставляя их со статистическими данными о состоянии основных фондов, можно проследить определенную связь между ними [1]. Например, при степени износа основных фондов в 2021 году в целом по Российской Федерации 40,5% этот показатель в строительстве достигает величины 50,5%. Очевидно, таким положением вещей объясняется то, что в этой отрасли удельный вес численности работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда, составляет 35,8%. Не менее показательны данные о численности пострадавших на производстве. Так, если всего в Российской Федерации в 2021 году на 1000 работающих приходилось 1,082 несчастных случаев, в том числе 0,06 случаев со смертельным исходом, то в строительстве эти цифры выглядят так: 1,354 несчастных случаев на 1000 работающих, включая 0,152 случаев со смертельным исходом [1].

Среди основных причин производственного травматизма, характерных для предприятий всех отраслей экономики, можно назвать неудовлетворительную организацию работ, нарушения технологического процесса, трудового распорядка и дисциплины. Устранение таких причин может быть достигнуто с помощью более эффективного руководства, применения дисциплинарных мер, улучшения качества обучения и проведения инструктажей [2-4]. Однако существуют другие причины, вызванные объективными процессами старения основных фондов и повышения в связи с этим вероятности возникновения аварийных ситуаций.

В структуре основных фондов коммерческих организаций, главным видом экономической деятельности которых является строительство, около 35 % составляют машины и оборудование. Степень износа основных фондов в этих организациях на

конец 2021 года составила 46,4%. Это означает, что значительная часть машин и оборудования, используемых в трудовом процессе, имеет пропорциональный износ. Анализ состояния парка строительных машин, в частности, осуществляющих перегрузочные операции, показал, что удельный вес машин с истекшим сроком службы колеблется от 33,6% для башенных кранов до 47,9% для кранов на гусеничном ходу [1].

Очевидно, условия труда работающих на таком оборудовании могут способствовать возникновению случаев производственного травматизма [5]. Проблема актуальна не только для строительства, поскольку перегрузочная техника используется практически во всех отраслях экономики, ее состояние должно учитываться при анализе опасностей и оценке риска [6].

Изучению изменения свойств материалов различных технических объектов и систем при длительной эксплуатации посвящены многочисленные исследования. Экспериментально доказано и теоретически обосновано влияние срока и условий эксплуатации на механические свойства, прочность, эксплуатационную надежность, искрообразующую способность, коррозионную стойкость сталей разного типа [7-14]. Установлены закономерности изменения механических свойств и смоделированы процессы старения стали [15]. На основе этих исследований в специализированных научно-исследовательских институтах и лабораториях разрабатываются составы сталей с учетом особенностей их применения. Однако проблема остается актуальной. В результате длительной эксплуатации меняются не только свойства материала, происходят изменения в работе самой технической системы. Усталостные повреждения, накапливающиеся в материале, с течением времени приводят к увеличению динамических нагрузок. В частности, в случае перегрузочной техники увеличивается динамическая нагрузка на элементы приводов, что, в свою очередь, уменьшает их эксплуатационную надежность.

Методология. Целью исследования является повышение безопасности труда и эксплуатационной надежности перегрузочной техники за счет снижения

возникающих в условиях эксплуатации динамических нагрузок.

Для создания математической модели были исследованы изменения динамической нагрузки и колебательные процессы в технической системе. В качестве испытательного стенда была использована электрическая таль типа «ТЭ-0,5» грузоподъемностью 500 кг (рис. 1). Грузоподъемная машина установлена на двутавровой балке (6), оснащена механизмом передвижения (4) и механизмом подъема (1). Механизм подъема осуществляет подъем-опускание номинального груза (3) посредством лебедки с грузовым канатом (2). Для фиксации возникших колебаний на серьги (7), соединяющие крюк с грузом (3), установлены измерительные тензорезисторы [16].

В ходе эксперимента груз поднимают с пола на определенную высоту, затем его останавливают. Возникающие при этом колебания груза фиксируются электронным осциллографом до полного их затухания, после чего груз опускается на пол.

Результаты. В процессе экспериментального исследования были получены графики динамических колебаний технической системы. По своему характеру динамическая картина будет одинакова для всех грузоподъемных машин, работающих в стар-

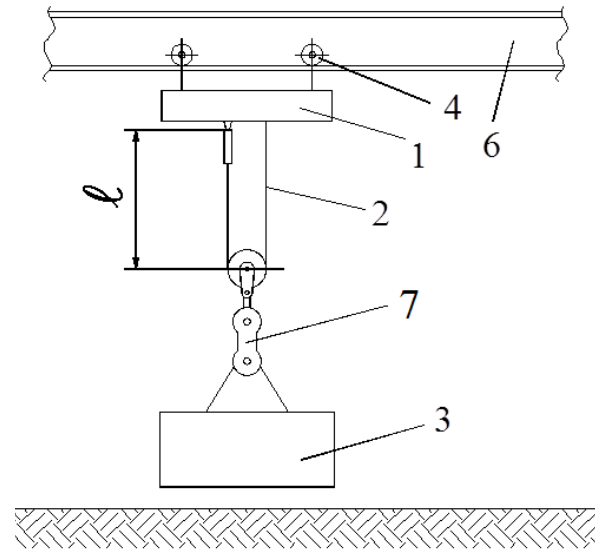
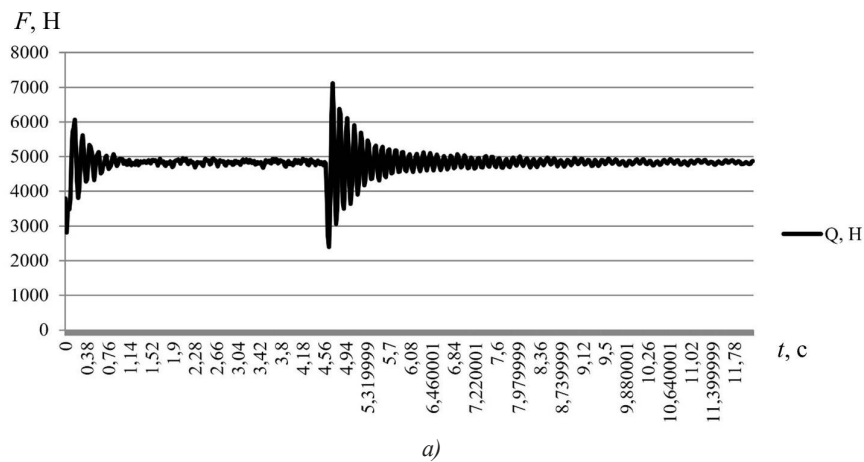
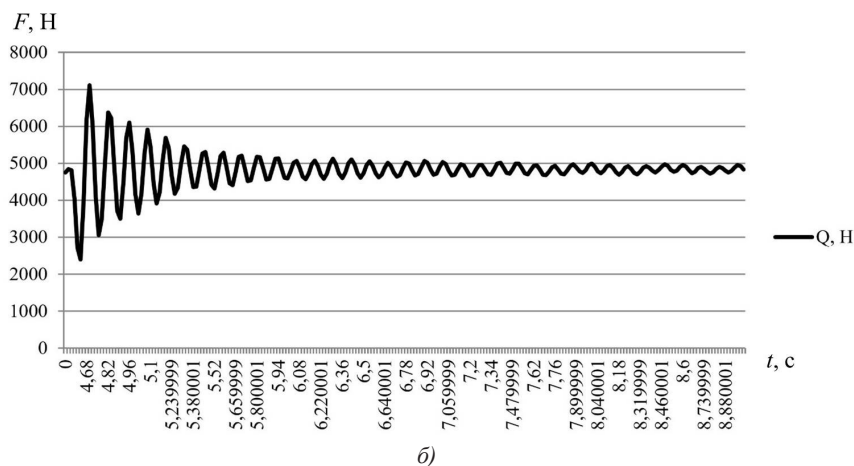


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования динамики подъема груза

топных режимах. На величину колебаний оказывают влияние вес поднимаемого груза, тип используемого в технической системе стального каната, элементы лебедки и металлоконструкция оборудования. Полученные результаты представлены на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Осциллограмма колебаний при подъеме груза:
а – подъем груза с пола и остановка на весу; б – остановка груза на весу (отдельно)

Обсуждение. Анализ колебательного процесса при подъеме груза показывает, что максимальные значения амплитуды колебаний возникают в момент остановки подъема груза на некоторой высоте. В этом случае груз имеет только одну связь с грузовым барабаном – канат. Если допустить, что точка подвеса каната на механизме подъема абсолютно жесткая, то динамическая схема будет включать упругие свойства каната и его вязкие свойства из-за внутренних диссипативных сил, обеспечивающих достаточно быстрые затухания колебаний груза (рис. 3), а сама модель будет одномассовой с одной степенью свободы.

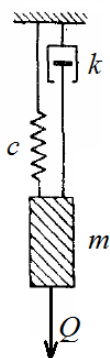


Рисунок 3 – Динамическая схема груза на канате
 c – коэффициент жесткости пружины; k – коэффициент вязкости; m – масса подвижных элементов механической системы; Q – внешняя возмущающая сила

В таком случае уравнение колебательного процесса будет следующим [17]:

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = 0$$

или

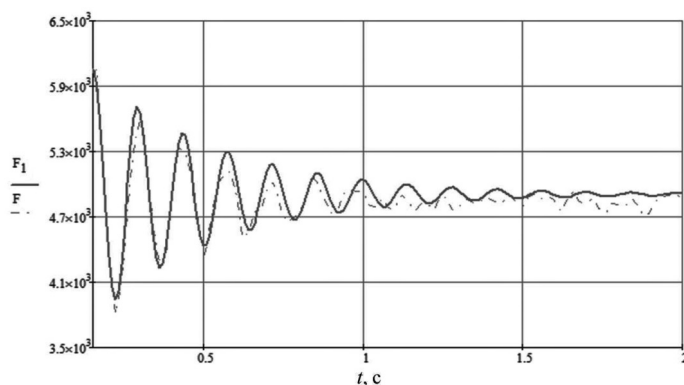
$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + p^2x = 0,$$

где n – коэффициент, учитывающий вязкость механической системы, $n = \frac{k}{2m}$;

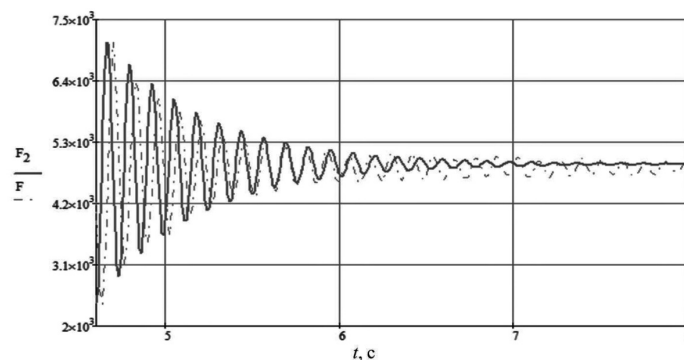
p – постоянная, зависящая от параметров системы, $p = \sqrt{\frac{c}{m}}$.

Решение уравнения было выполнено численными методами на ЭВМ в системе математического программирования *Mathcad*. В результате решения методом Рунге-Кутты были получены колебания рассматриваемой механической системы, соизмеримые с осциллограммой испытаний, приведенной на рисунке 4, что говорит об адекватности математической модели.

Для построения уточненной математической модели рассматриваемой механической системы необходимо учесть колебания конструкции машины (для электротали – балки). Получение уточненных графиков колебательных процессов и анализ факторов, влияющих на работу привода, позволит произвести расчет его узлов с учетом этих колебательных процессов.



а)



б)

Рисунок 4 – Колебания математической модели механической системы:
 а – подъем груза с пола; б – остановка на весу

Выводы. Условия труда, влияющие на безопасность работников и уровень производственного травматизма в строительной отрасли, связаны с износом основных средств и состоянием парка строительных машин, в частности. Современное состояние парка перегрузочного оборудования определяет актуальность изучения возможности снижения техногенного риска транспортно-технологических комплексов.

Повышение эксплуатационной надежности и безопасности работы перегрузочного оборудования возможно за счет снижения возникающих при эксплуатации динамических нагрузок.

Математическое моделирование работы механической системы и получение графиков колебательных процессов позволит провести расчет узлов привода с учетом факторов, влияющих на его работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Российский статистический ежегодник. 2022: Стат. сб./ Росстат. – М., 2022 – 691 с.
2. Нарусова Е.Ю. Определение необходимых личностных качеств руководителя для обеспечения безопасного труда работников / Е.Ю. Нарусова, В.Г. Стручалин, А.Н. Степанов // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 8. – С. 91-95. – DOI 10.24000/0409-2961-2021-8-91-95. – EDN GQZFRD.
3. Митрюшина А.В. Система управления охраной труда в строительстве / А.В. Митрюшина, Е.Ю. Нарусова, Н.Б. Фомина // Проблемы развития предприятий: теория и практика : Сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 18–19 апреля 2022 года / Под научной редакцией В.И. Будиной. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 121-124. – EDN VJLOMV.
4. Степанов А.Н. Разработка методики проведения внепланового инструктажа по случаю производственного травматизма, учитывающей человеческий фактор / А.Н. Степанов, Е.Ю. Нарусова, В.Г. Стручалин // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 7. – С. 67-72. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-7-67-72. – EDN KEERLT.
5. Поветкина П.Н., Хамидуллина Е.А. Анализ аварийности и травматизма при работе с грузоподъемными механизмами / П.Н. Поветкина, Е.А. Хамидуллина // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – №3(4) – С. 40-50.
6. Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденное приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 3 ноября 2022 г. N 387 – 84 с.
7. Микромеханика и физика замедленного разрушения сталей / В.М. Мишин, Д.В. Щитов, М.В. Волоконский, Г.А. Филиппов // Актуальные проблемы прочности : в 2 томах. Том 1. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2018. – С. 5-27. – EDN XVWGKD.
8. Актуальные проблемы прочности : в 2 томах / А.В. Алифанов, В.А. Андреев, А.А. Антанович [и др.]. Том 1. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2018. – 422 с. – ISBN 978-985-481-558-9. – EDN UWHMOP.
9. Проблемы прочности и эксплуатационной надежности высокопрочных конструкционных материалов / М.В. Ильичев, Н.О. Ливанова, А.С. Тюфтяев, Г.А. Филиппов // 60 Международная научная конференция "Актуальные проблемы прочности", Витебск, 14–18 мая 2018 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2018. – С. 491-492. – EDN XUXHED.
10. Влияние длительной эксплуатации и деформационного старения конструкционной стали 09Г2С на сопротивление разрушению и искрообразующую способность / В.Ю. Навценя, В.Г. Стручалин, Н.О. Ливанова, Г.А. Филиппов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2015. – № 1. – С. 87-92. – EDN TNDWBV.
11. Влияние длительной эксплуатации на конструкционную прочность арматурной проволоки / В.К. Блохин, Е.Ю. Нарусова, О.В. Ливанова, Г. А. Филиппов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2003. – № 1. – С. 9-13. – EDN QIWXUZ.
12. Григоренко В.Б. Особенности разрушения деталей крепежа из конструкционной стали / В.Б. Григоренко, Л.В. Морозова, С.С. Виноградов // Труды ВИАМ. – 2018. – № 4(64). – С. 66-74. – DOI 10.18577/2307-6046-2018-0-4-66-74. – EDN YVOWMP.
13. О механизме разрушения рельса Р65 низкотемпературной надежности после длительной эксплуатации / Г.А. Филиппов, В.П. Вылежнев, Л.А. Баева [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2021. – № 1. – С. 39-48. – EDN PKOIOJ.
14. Исследование закономерностей деформационного старения низколегированных сталей с феррито-бейнитной структурой / А.Р. Мишетьян, Ю.Д. Морозов, Г.А. Филиппов, О.Н. Невская // 53 Международная научная конференция "Актуальные проблемы прочности" : Сборник материалов конференции. В 2-х частях, Витебск, 02–05 октября 2022 года. Том Часть 1. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2012. – С. 171-173. – EDN OVITJB.
15. Закономерности изменения механических свойств конструкционных сталей в ходе длительной эксплуатации и моделирование процессов старения / В.Н. Зикеев, Г.А. Филиппов, И.П. Шабалов [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2014. – № 4. – С. 74-82. – EDN TBEWYJ.
16. Баржанский Е.Е. Грузоподъемные машины и машины безрельсового транспорта: лабораторный практикум. – М.: Альтаир – МГАВТ, 2007. – 129 с.
17. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я. Г. Пановко. - 4-е изд., перераб. и доп. - Ленинград : Политехника, 1990. – 271с.

Статья поступила в редакцию 15.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023

УДК 331.4, 624.9, 004.942

EDN: DNEPBX

КРИТЕРИИ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

© Авторы 2023

SPIN: 4944-2360

AuthorID: 1035858

ORCID: 0000-0001-6840-6865

НАМ Галина Евгеньевна, аспирант

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, e-mail: yamibum@gmail.com)*

SPIN: 9499-2266

AuthorID: 300968

ORCID: 0000-0002-6759-7863

ResearcherID: AFA-6966-2022

ГОРБУНОВА Ольга Владимировна, кандидат биологических наук,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, e-mail: yolga73@mail.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с возможностью цифровизации системы мониторинга за состоянием безопасности труда на строительных площадках строительной отрасли в Российской Федерации. На сегодняшний день, действующие в строительной отрасли в Российской Федерации системы мониторинга состояния охраны труда и безопасности жизни и здоровья персонала можно отнести к системам с очным наблюдением, носящим периодический характер, включающие обход, осмотр и другие виды контроля, в том числе с применением фото-видеонаблюдения, с периодической фиксацией результатов наблюдений за персоналом на объекте строительства. Такой подход в системе мониторинга не демонстрирует реального состояния условий труда и безопасности персонала в динамично меняющейся производственной среде на строительной площадке. Целью исследования являлось изучение применимости технологий информационного моделирования (далее – ТИМ) для создания на этой основе цифровой системы мониторинга за безопасностью труда на строительной площадке. Научная новизна предложенного подхода, в реализации цифрового контроля за состоянием уровня безопасности труда на строительной площадке, заключается в применении систем автоматического контроля по выбранным критериям в режиме *online*, и возможности фиксации их состояний с учетом изменчивости и динамичности производственной среды на строительной площадке, а также возможности автоматической системы контроля выдавать рекомендации по предупреждению опасных ситуаций.

Ожидаемым результатом при использовании цифрового контроля за состоянием безопасности труда на строительной площадке будет снижение травматизма и аварийных ситуаций, в перспективе применения технологий ТИМ – исключение возможности создания опасных ситуаций различного рода.

Ключевые слова: охрана труда в строительстве, цифровая система мониторинга, технологии информационного моделирования, травматизм, цифровой двойник, критерии оценки, теория нечетких множеств.

LEVEL CONTROL CRITERIA OF OCCUPATIONAL SAFETY FOR THE ORGANIZATION OF A DIGITAL MONITORING SYSTEM ON A CONSTRUCTION SITE

© The Authors 2023

NAM Galina Evgenievna, post-graduate student

GORBUNOVA Olga Vladimirovna, candidate of biological sciences,
assistant professor of the department «Technosphere Safety»

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
(190005, Russia, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya street 4,
e-mails: yamibum@gmail.com, yolga73@mail.ru)*

Abstract. The article deals with topical issues related to the possibility of digitalization the monitoring system of health and safety conditions in the construction industry in Russian Federation. Today, the monitoring system of the health and safety conditions and safety of life and health of personnel can be classified as a system with full-time observation, which is of a periodic nature, including bypass, inspection and other types of control, including the use of photo-video surveillance, with periodic recording of the results of monitoring personnel at the construction site. Such an approach in the monitoring system does not demonstrate the real state of working conditions and personnel safety in a dynamically changing production environment at a construction site. The aim of the research is to study the applicability of information modeling technologies to create a digital monitoring system for labor safety at a construction site. The scientific novelty of the proposed approach, in the implementation of digital control over the state of the level of labor safety at the construction site, lies in the use of automatic control systems according to selected criteria online, and the

possibility of fixing their states, taking into account the variability and dynamism of the production environment at the construction site, as well as the possibility automatic control system to issue recommendations for the prevention of dangerous situations. The expected result when using digital control over the state of labor safety at the construction site will be a reduction in injuries and emergencies, in the future, the use of information modeling technologies will eliminate the possibility of creating dangerous situations of various kinds.

Keywords: labor protection in construction, digital monitoring system, information modeling technologies, injuries, digital twin, criteria for evaluation, fuzzy set theory.

Для цитирования: Нам Г.Е. Критерии контроля уровня безопасности труда для организации цифровой системы мониторинга на строительной площадке / Г.Е. Нам, О.В. Горбунова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 1(61). – С. 90-97. – EDN: DNEPBX.

Введение. На сегодняшний день цифровизация стала важной частью всех отраслей промышленности РФ. Большими темпами идет формирование стратегий и программ по цифровизации в строительной отрасли. Однако Россия не занимает лидирующее место в числе стран с развитыми технологиями в области информационного моделирования. Активизация разработок и внедрения стандартов на основе ISO в процессе перехода строительной отрасли на цифровую платформу должна преодолеть это отставание.

С принятием изменений в части 2 ст. 48 «Градостроительного Кодекса РФ» [1] начался ускоренный переход на работу в цифровой среде. Следующим шагом для решения проблем в строительной отрасли стала подготовка новой Стратегии социально-экономического развития РФ до 2030 года, инициированная Председателем Правительства РФ Михаилом Мишустинным в 2021 году. Основная цель Стратегии – это обеспечение, в том числе, инструментами и средствами технического регулирования реализации национальных целей и задач, установленных Президентом РФ в Послании Федеральному Собранию РФ от 21 апреля 2021 года, а также задач, включенных в проект Стратегии «Агрессивное развитие инфраструктуры» [2].

Для успешного управления организационными и технологическими процессами в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений (далее – зданий) важны объективная информация, знания о составе и состоянии этих самых процессов, состоянии и структуре здания, производительности, рисках, стоимости и т.д. Работодатель должен иметь возможность идентифицировать, анализировать, структурировать поступающую информацию и управлять ею. Для такого подхода необходима разработка единой информационной среды для мониторинга за безопасностью труда как основы для создания, сопровождения и совместного использования структурированной информации о текущем состоянии безопасности на объекте строительства и его участниках с использованием технологий информационного моделирования (далее – ТИМ) и цифрового двойника (далее – ЦД).

Целью статьи является обоснование выбора критериев контроля уровня безопасности труда и разработка математической модели для организации цифровой системы мониторинга на строительной площадке, работающей на превентивность.

По данным Роструда в 2021 году в результате несчастных случаев на производстве со смертельным исходом пострадало 1 655 человек. При этом количество пострадавших в результате несчастных случаев на производстве со смертельным исходом увеличилось не только по сравнению с 2020 годом (на 179 человек) [3].

Поэтому улучшение организации безопасного труда является важной и необходимой задачей, поскольку травмы и несчастные случаи на строительной площадке сопровождаются простоями, огромными затратами и подрывают имидж организации.

Несмотря на усилия по повышению безопасности, строительная отрасль по-прежнему сталкивается с проблемами управления, связанными с неэффективностью мониторинга и контроля за условиями безопасности без соответствующей технологической поддержки.

В рассмотренных научных публикациях зарубежных авторов указаны возможности применения ТИМ по отдельным видам мониторинга, например, для контроля за выполнением работ по строительству объекта с учетом соблюдения сроков календарного плана строительства [4-6]. Следует отметить, что сделаны отдельные попытки авторов показать возможность применения ТИМ для повышения эффективности системы управления безопасностью труда [7-9]. Проведенный ретроспективный анализ данных публикаций показал, что за последние 5 лет ТИМ применяется только для целей контроля за строительством.

В изученных отечественных научных публикациях рассмотрены попытки авторов применить ТИМ в целях контроля за состоянием условий и охраны труда, только лишь для централизованного внесения информации – документов, фотографий, видео и проч. в цифровую модель строящегося объекта, для удобства контроля, который носит прежний запаздывающий характер, а именно фото-видеофиксация нарушений по факту, замеченных ответственным работником за состоянием охраны труда на строительной площадке [10, 11]. Но некоторые исследования направлены на автоматизированный процесс контроля за состоянием охраны труда в реальном времени [12, 13]. Однако, они носят фрагментарный характер и не описывают общее состояние уровня безопасности на строительной площадке.

Методология. На основе анализа фактического

состояния объекта строительства в реальном масштабе времени необходимо обеспечить возможность прогнозирования изменения состояния объекта и возникающих рисков. Такая информационная система должна представлять собой единый механизм принятия решений, где каждый отдельный процесс является его неотъемлемой частью. В таком случае любое нарушение работы влечет за собой срыв поставок, нарушение технологических процессов, нарушения безопасного ведения работ, либо дальнейшее некорректное функционирование всей единой системы [14].

Традиционные инструменты управления рисками, используемые специалистами по охране труда, часто бывают переменными по качеству и носят общий характер. Существует теоретический пробел в понимании того, как разрабатывать, использовать и применять эти инструменты в информационных системах и цифровых процессах. Другими словами, специалисты различных областей на строительной площадке не сотрудничают друг с другом для обмена информацией о состоянии уровня обеспечения безопасности труда в течение жизненного цикла объекта. Использование ТИМ ограничивается статичной документацией, которая после передачи на этап строительства частично или полностью устаревает, а технические данные, используемые для создания ТИМ-моделей, обесцениваются. Поэтому с помощью цифрового двойника возможно реализовать весь потенциал инженерно-технических данных объекта строительства с входящими в неё цифровыми компонентами в качестве отправной точки, постоянно обновлять цифровой контекст, используя данные с дронов, датчиков и систем позиционирования.

Цифровые двойники можно считать одним из инструментов для обеспечения безопасности труда по анализу фактического состояния объекта, который позволяет смоделировать различные варианты полных и частичных предпосылок нарушений, работу устройств с учетом режимов работы персонала, воздействий окружающей среды и изменения в технологических процессах и организации работ на объекте. Являясь цифровой копией физического объекта строительства, использование двойников позволяет принимать более обоснованные решения по оптимизации производства. Двойники предоставляют единообразные и точные источники информации для управления эффективностью и безопасностью объектов в реальном времени.

Выявление и предотвращение опасностей и рисков можно определить раньше, используя цифровой двойник для мониторинга за строительной площадкой, что позволит контролировать уровень безопасности с учетом фактического состояния здания.

Сегодня российские строительные компании находятся на начальной стадии развития, когда деятельность и ответственность исполнителей регламентирована нечетко, данные находятся в разрозненном виде и не связаны между собой, а используемые программные средства решают только частные задачи и

не располагают взаимным обменом информацией, что является одним из основных факторов, влияющих на управление безопасностью на объекте [15].

Современные системы информационного моделирования позволяют выполнить компоновку и проектирование строительных объектов в объемном виде с учетом всех ограничений и требований производственного процесса, а также требований безопасности. С их помощью можно создавать проектную модель той или иной установки и правильно размещать на ней технологические и технические компоненты без противоречий и коллизий [16].

В настоящее время результаты такого мониторинга осуществляются на основе ручного труда, который является неэффективным, недостоверным и требующим значительных временных затрат.

В исследовании применялись методы научного поиска, методы моделирования, теория вероятности и теория нечетких множеств.

При разработке цифровой системы мониторинга за безопасностью труда возникает вопрос выбора критериев оценки уровня безопасности на строительной площадке. В нашем случае выбранные критерии должны отвечать таким требованиям, как измеримость, точность, простота, способность учитывать факторы случайности в ходе исследуемого процесса. Поэтому, для нахождения возможных нарушений и предотвращения несчастных случаев при строительстве зданий, необходимо выбрать следующие критерии оценки уровня безопасности труда для цифровой системы мониторинга (рис. 1).

Модель содержит 6 критериев:

- 1) фактическое состояние рабочего места
- 2) персонал;
- 3) фактическое состояние строительной площадки;
- 4) машины и оборудование;
- 5) средства защиты;
- 6) опасные виды работ.

Шесть критериев содержат 35 факторов, детализирующих будущую модель (табл. 1).

Представленные критерии охватывают весь спектр чрезвычайных происшествий на строительной площадке, в результате которых могут погибнуть люди или произойти аварии. Важно отметить, что критерии отражают целостную картину состояния объекта строительства.

Измеримость и соотнесение шкал критериев достаточно сложная задача. Для унификации авторы предлагают разработать свою шкалу, которая будет выражаться диапазоном и маркировкой цветом. Пример такой шкалы одного критерия представлен на рисунке 2.

Измеримые критерии, например, критерий фактического состояния рабочего места, возможно связать с классами условий труда. Таким образом, на основе карт специальной оценки условий труда, созданная нами цифровая система мониторинга будет различать уровень безопасности для отслеживания нарушений.

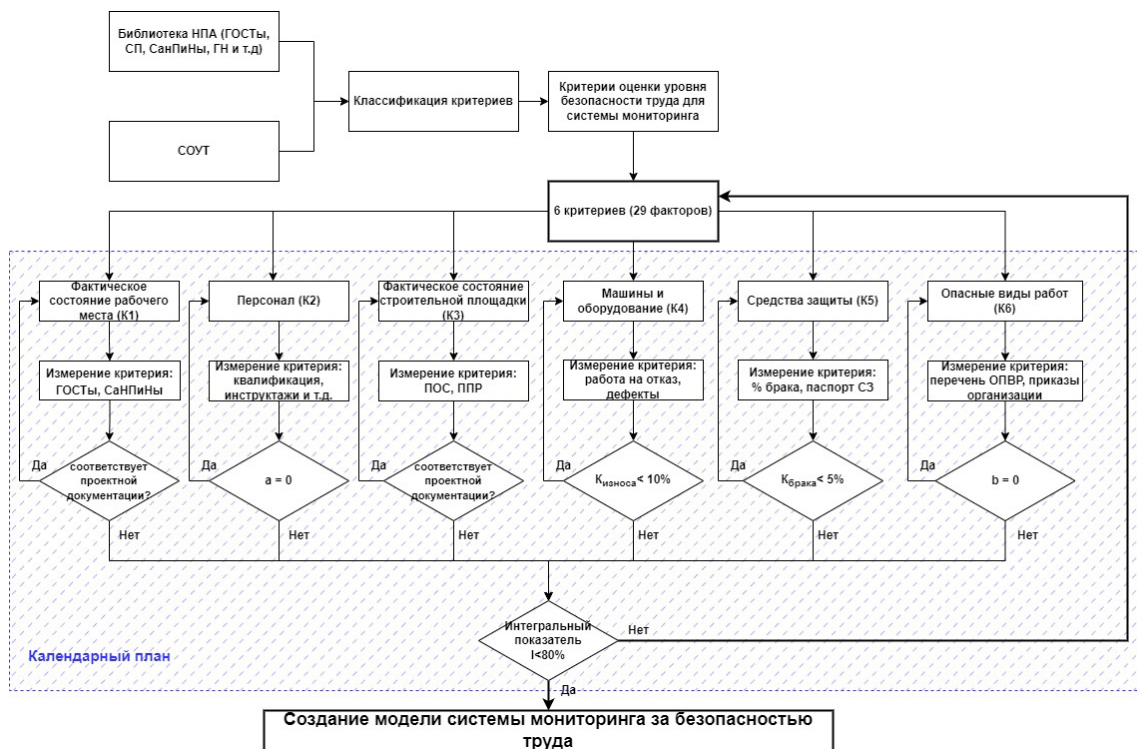


Рисунок 1 – Блок-схема определения критериев уровня безопасности труда на строительной площадке

Таблица 1 – Критерии и факторы оценки уровня безопасности труда на строительной площадке

Критерии	Факторы	НПА
Фактическое состояние рабочего места (K ₁)	Физические факторы (шум, вибрация, освещенность и т.д.); Химические факторы; Биологические факторы; Факторы трудового процесса; Санитарное содержание рабочего места; Эргономика рабочего места (размеры рабочего места, расположение оборудования); Перепады по высоте; Температура воздуха; Скорость движения воздуха.	Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 774н; ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 12.2.033-78; ГОСТ Р 52324-2005; ГОСТ Р ЕН 547-1 – 008; ГОСТ ЕН 1005-2 – 2005; ГОСТ Р 52870 – 2007; ГОСТ ИСО 895 – 2002; СанПиН 1.2.3685-21; Приказ Минтруда России от 14.09.2021 № 629н;
Персонал (K ₂)	Квалификация работника; Инструктажи; Медосмотры; Пеих. освидетельствование; Отсутствие на рабочем месте (больничный лист, вакансия).	Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих; Ст. 214 ТК РФ; Постановление Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2021 г. № 2464; Постановление Правительства РФ от 30.12.2022 № 2540; Приказ Минздрава России от 31 декабря 2020 г. № 988н/1420н; Ст. 220 ТК РФ «Медицинские осмотры некоторых категорий работников»; Приказ Минздрава от 20 мая 2022 г. № 342н; Ст. 81 п.6 ТК РФ; раздел IV, гл.15 ст.91 ТК РФ;
Фактическое состояние строительной площадки (K ₃)	Разбивка на зоны; Выравнивание, отсыпка и уплотнения; Опасные зоны; Ограждающие конструкции; Нахождение третьих лиц на территории; Санитарное содержание территории; Прокладка систем энергоснабжения; Пожарная безопасность.	Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; Приказ Минтруд Ф №883н от 11.12.2020; Локальные нормативные акты предприятия; ст. 8 ТК РФ; Федеральный закон от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 29.12.2022).
Машины и оборудование (K ₄)	Техническое освидетельствование; Условия эксплуатации; Опасные зоны работы машин и оборудования; Опасные зоны падения груза; Защита движущихся частей оборудования; Расположение оборудования	Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 02.07.2021); Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 N 878 (ред. от 03.03.2020) (вместе с ТР ТС 019/2011 «Технический регламент Таможенного союза. О безопасности средств индивидуальной защиты»); Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 N 461; Приказ Минтруд Ф №883н от 11.12.2020; Локальные нормативные акты предприятия, ст. 8 ТК РФ.
Средства защиты (K ₅)	Подходящая степень защиты; Обучение правилам носки и применения; Карточки СИЗ; Износ/брак.	Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 02.07.2021); Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 N 878 (ред. от 03.03.2020) (вместе с ТР ТС 019/2011 «Технический регламент Таможенного союза. О безопасности средств индивидуальной защиты»); Приказ Минтруда России от 29.10.2021 N 766н.
Опасные виды работ (K ₆)	Виды работ, согласно приказу; Наряд-допуск; Обучение по ОТ.	Локальные нормативные акты предприятия, ст. 8 ТК РФ; Перечень опасных видов работ (Приложение 2, Приказ Минтруда России от 29.10.2021 N 776н); Опасные виды работ, в соответствии с требованиями из отраслевых правил по охране труда: а) Приказ Минтруда России от 16.11.2020 N 782н (гл. IV, п 48 – 74 наряд-допуск); б) Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 N 528 (п. 71 наряд-допуск); в) и др.; Постановление Правительства РФ от 24.12.2021 N 2464.

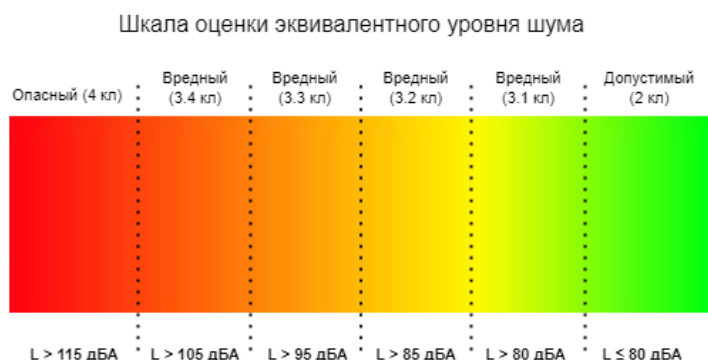


Рисунок 2 – Шкала оценки эквивалентного уровня шума

Каждый критерий из таблицы 1 представлен в виде дерева отказов для более точного и полного предоставления информации о выявленных нарушениях или отклонениях, представляющие угрозу для жизни и здоровья персонала в будущем.

На рисунке 3 представлено дерево отказов критерия «Персонал».

В основе вероятностной модели лежит дерево отказов, другими словами, это метод анализа сложных систем на основе причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее составных частей, элементов и другими событиями, порождающими отказ. Для описания сложной системы следует разбить ее на подсистемы и создать дерево отказов для каждой подсистемы. Имеется простая подсистема критерия «Персонал». Основными элементами такого дерева отказов являются:

- отсутствие квалифицированных документов;

- отсутствие на рабочем месте;
- отсутствие медицинского заключения;
- отсутствие прохождения инструктажей.

Событиями, которые ведут к отказу элементов, являются:

- отсутствие требуемой квалификации;
- несоответствие к требуемой квалификации;
- отсутствие прохождения стажировки;
- вакантное место;
- больничный лист;
- нет психиатрического освидетельствования;
- нет медицинского осмотра;
- не был пройден первичный инструктаж;
- не был пройден повторный инструктаж.

Анализ дерева отказов направлен на выявление минимально необходимых и достаточных условий для возникновения или не возникновения событий M , R , Q и T .

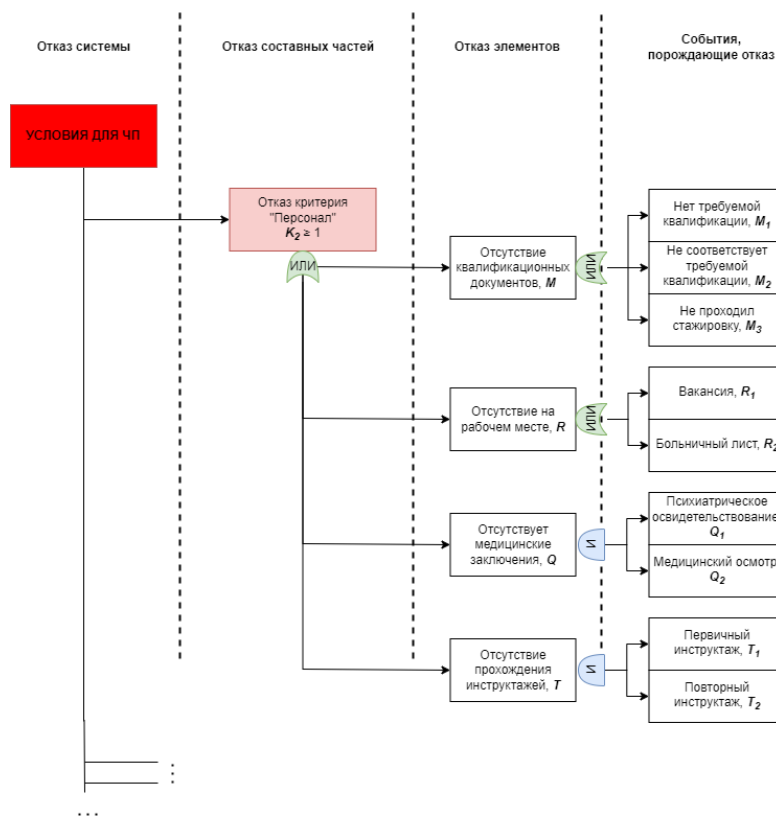


Рисунок 3 – Дерево отказов критерия «Персонал»

Результаты. Для создания математической модели цифрового контроля безопасности труда, и описания математического аппарата, который применим к сложным человеко-машинным системам, наиболее удобным, с точки зрения возможностей анализа систем, является аппарат теории марковских процессов.

Достоинством применения математического аппарата теории марковских процессов является то, что имеется возможность учёта всех значимых для решения задач связей, при изучении сложного процесса по частям.

Так, для описания процесса мониторинга (с конечным множеством состояний) за состоянием уровня безопасности на строительной площадке, в режиме *online* «здесь и сейчас», подходит метод описания с непрерывным временем, который рассматривает интервалы времени между переходами системы из одного состояния в другое, и их направления носят случайный характер.

Закон распределения моментов перехода из одного состояния в другое задается случайным потоком, и момент перехода отождествляется с существованием события из этого случайного процесса [17].

Для сложных и больших моделей целесообразно использовать мнемоническое правило составления дифференциальных уравнений с ориентированным графом состояний [17].

Граф состояний, характеризующий рассматриваемые составные части системы цифрового контроля безопасности труда на строительной площадке (человеко-машинной системы), представлен на рисунке 4.

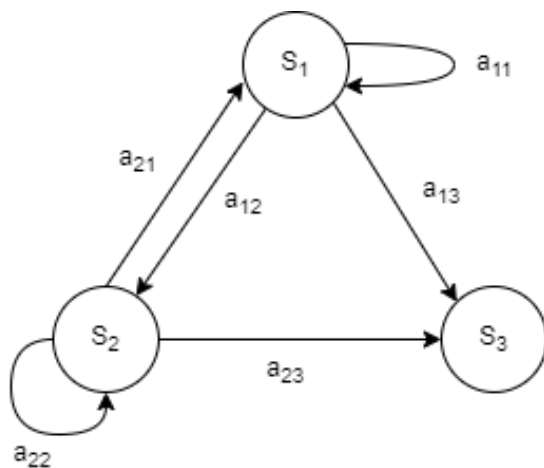


Рисунок 4 – Ориентированный граф состояний элемента K₂ системы мониторинга состояния безопасности труда

На рисунке 4 показаны:

- S₁ – состояние элемента K₂ системы – соответствует требованиям ОТ (безопасности труда);
- S₂ – состояние элемента K₂ системы – не соответствует по каким-либо критериям, требованиям ОТ;
- S₃ – состояние элемента K₂ системы – ЧП (несоответствие, приведшее к нежелательным по-

следствиям, таким как: травмы, смертельный исход, профзаболевания, отказ, инцидент, авария);

– a₁₁ – интенсивность перехода характеризуется тем, что система будет оставаться неопределенный период времени в состоянии соответствия требованиям ОТ;

– a₁₂ – интенсивность перехода системы из состояния соответствия в несоответствие требованиям ОТ;

– a₁₃ – интенсивность перехода системы из состояния соответствия в состояние ЧП (из-за отсутствия информации, неучтённых факторов);

– a₂₁ – интенсивность перехода системы из состояния несоответствия в состояние, отвечающее требованиям безопасности, после своевременного устранения несоответствий;

– a₂₂ – интенсивность того, что система будет оставаться неопределенный период времени в состоянии несоответствия требованиям ОТ (по причинам не обнаружения/ отсутствия информации, и др.);

– a₂₃ – интенсивность перехода системы из состояния несоответствия в состояние ЧП.

Зависимость вероятностей нахождения элемента K₂ рассматриваемой системы в любом i-том состоянии, из N возможных состояний, от времени характеризуется системой дифференциальных уравнений Колмогорова [18] с постоянными коэффициентами:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^N a_{ji} P_j(t) - \sum_{j=1}^N a_{ij} P_i(t)$$

где a_{ij} – интенсивность перехода из i-того состояния в любое другое j-тое (выходящее событие, принимается со знаком «-»);

a_{ji} – интенсивность состояние из любого другого j-того состояние в i-тое состояние (входящее событие, принимается со знаком «+»);

P_i – вероятность перехода системы из состояния S_i в состояние S_j за период времени t.

Система уравнений дополняется ограничивающим условием, которое предполагает, что рассматриваемый элемент K₂ системы не может находиться в каком-либо другом состоянии, кроме как в одном из состояний, указанных на рисунке 4, то сумма вероятностей нахождения элемента K₂ в этих состояниях будет равна 1:

$$\sum_{i=1}^N P_i(t) = 1$$

Таким образом, для графа состояний, представленного на рисунке 4, система уравнений с учетом условия примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(a_{12} + a_{13})P_1(t) + a_{21}P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = a_{12}P_1(t) - (a_{23} + a_{21})P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = a_{13}P_1(t) + a_{23}P_2(t) \\ P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 1 \end{cases}$$

Решая систему составленных дифференциальных уравнений, мы можем найти вероятность перехода

системы в состояние ЧП – P_3 :

$$P_3 = 1 - (P_1 + P_2)$$

Для повышения уровня организации безопасного труда строительная бригада должна получать данные от цифрового двойника о текущем состоянии места производства работ и фактического состояния объекта на основе цифрового двойника с учётом рисков, обусловленных производством работ на других участках строительной площадки, а также информацию о погодных условиях в данный момент времени. Полученная информация даст работникам необходимую информацию о состоянии рабочего места и возможных рисках, исходящих от смежных технологических процессов, тем самым, повысить уровень безопасности на объекте, эффективность выполнения работ при строительстве и мер управления рисками.

Обсуждение. Поскольку среда на строительных площадках постоянно меняется, в настоящее время сложно учесть все опасности в цифровой модели в режиме реального времени. Поэтому необходим постоянный анализ и возможность дополнения перечня рисков специалистами из разных областей строительства. Предлагаемая модель облегчает управление профессиональными опасностями путем выявления, оценки и устранения или их минимизации, а также определение средств и превентивных мер в соответствии с требованиями.

Следующие этапы исследования сосредоточены на применимости представленной математической модели для всей системы мониторинга в реальном времени и на разработке метода автоматической классификации предупреждений, где порог и уровень срабатывания сигнализации будет предварительно установлен в соответствии с нормативными документами. Исследования также необходимо сосредоточить на изучении дополнительных тематических исследований, сценариев, руководящих принципов и передовых методов, чтобы изучить применимость системы и убедить практиков в ее полезности и, прежде всего, в инвестициях и преимуществах внедрения цифровой системы обеспечения безопасности труда.

Выводы. С использованием технологий информационного моделирования некоторые из преимуществ, которые будут достигнуты на этапе проектирования и в процессе строительства:

- a) согласованность внутренних процессов;
- b) максимальное использование ресурсов за счет более точных расчетов и моделей;
- c) повышение компетентности персонала для реализации проектов любой сложности;
- d) устранение рисков и повышение устойчивости.

Интеграция нормативных требований в области мониторинга за безопасностью труда с возможностями цифрового двойника позволит предвидеть возможные отказы системы с учетом различных факторов: расположения или ремонт оборудования, перемещения или отсутствия работников на

рабочем месте, нахождения посторонних лиц в опасной зоне работы строительной техники и т.д., а также спрогнозировать влияние новых данных или изменений в технологических процессах на эксплуатационные характеристики и на состояние безопасности труда объекта строительства.

Двойник позволит оптимизировать процессы и процедуры, принимать превентивные меры для поддержания приемлемого уровня риска в реальном времени, выдавать рекомендации по устранению нарушений или минимизации негативных последствий. Это повысит безопасность объекта и поможет сэкономить деньги, где одно незапланированное событие может привести к простоям и будет стоить нескольких миллионов рублей.

В сложной динамической среде как строительная площадка, когда идут постоянные изменения – от технологий до состава рабочей силы – риск находится на высоком уровне. С целью защиты сотрудников и объекта применение цифрового двойника позволит руководству своевременно принимать решения в любой ситуации с непредсказуемым развитием событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) (статьи 1 – 453) (с изменениями на 8 декабря 2020 года) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9027690> (дата обращения 01.12.2022).
2. Стратегия «Агрессивное развитие инфраструктуры» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ancb.ru/files/ck/1618305869_Husnullin_i_Plan_Mishustina.pdf (дата обращения 23.01.2023).
3. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://eisot.rosmintrud.ru/attachments/article/47/monitoring-2021.pdf> (дата обращения 20.12.2022).
4. Zijian Ye, Ying Ye, Chengping Zhang, Zhiming Zhang, Wei Li, Xuejie Wang, Lei Wang, Libin Wang. A digital twin approach for tunnel construction safety early warning and management // *Computers in Industry*. – 2023. – V. 144.
5. Rafaela Oliveira Rey, Roseneia Rodrigues Santos de Melo, Dayana Bastos Costa. Design and implementation of a computerized safety inspection system for construction sites using UAS and digital checklists – *Smart Inspects // Safety Science*. – 2021. – V. 143.
6. Ayodeji Emmanuel Oke, John Aliu, Patricia Oluwasefunmi Fadamiro, Prince O. Akanni, Seyi S. Stephen. Attaining digital transformation in construction: An appraisal of the awareness and usage of automation techniques // *Journal of Building Engineering*. – 2023. – V. 67.
7. Rafael Zorzenon, Fabiane L. Lizarelli, Daniel B.A. de A. Moura. What is the potential impact of industry 4.0 on health and safety at work? // *Safety Science*. – 2022. – V. 153.
8. David Jones, Chris Snider, Aydin Nassehi, Jason Yon, Ben Hicks. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. – 2020. – V. 29. – Part. A. – P. 36-52.
9. Zimei Liu, Kefan Xie, Ling Li, Yong Chen. A paradigm of safety management in Industry 4.0 // *Behav Sci*. 2020. – V. 37. – P. 632-645.
10. Троценко, Е.В. Цифровизация в области охраны труда / Е.В. Троценко, А.И. Горбатенко, Т.Г. Павленко // *Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции* : в 4 т., Курск, 20–21 октября 2022 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 88-92.
11. Тимофеев С.С., Тимофеева С.С. Цифровое будущее охраны труда // *XXI век. Техносферная безопасность*. – 2022.

– №1 (25).

12. Шарманов В.В., Симанкина Т.Л., Горбачев И.А. Идентификация местоположения работника на объекте строительства с помощью цифрового двойника // Вестник Научного центра. – 2022. – №3.

13. Гусарова Н.Ю. Цифровая автоматизация в обеспечении безопасности труда // Актуальные исследования. – 2021. – №46 (73). – С. 9-12.

14. Нам Г.Е. Георгиади В.В. Возможности информационного моделирования, внедрённого в систему управления охраной труда // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Безопасность в строительстве». – СПб: СПбГАСУ, 2019. – С. 233-238.

15. Британцы сообщили миру, что такое BIM уровня 3: это – Digital Built Britain [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17570 (дата обращения 22.12.2022).

16. Цифровые двойники: как BIM-технологии меняют городскую застройку [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://stroj.mos.ru/articles/tsifrovyye-dvoyniki-kak-bim-tiekhnologhii-meniaiut-ghorodskuiu-zastroiku?from=cl> (дата обращения 22.12.2022).

17. Емелин Н.М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов / Н.М. Емелин. – М.: Машиностроение, 1995. – 128 с.

18. Свешников А. А. Прикладные методы теории марковских процессов: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2007. – 192 с.

Статья поступила в редакцию 05.02.2023

Статья принята к публикации 17.03.2023