

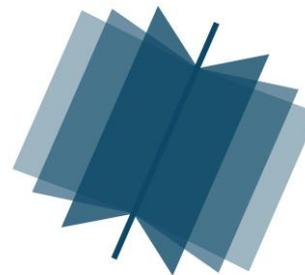
№ 4 (118) ▪ 2022
Часть 1 ▪ Апрель

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2022



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: Соколова М.В.
Главный редактор: Меньшаков А.И.
Адрес издателя и редакции: 620137, г. Екатеринбург, ул.
Академическая, д. 11, корп. А, оф. 4.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org
16+

**№ 4 (118) 2022
Часть 1
Апрель**

Дата выхода 18.04.2022
Цена: бесплатно.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии СС, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ЭЛ № ФС 77 - 80772**.

Члены редколлегии:

Филологические науки:

Растягаев А.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Штрекер Н.Ю. к. филол. н., Калужский Государственный Университет имени К.Э. Циолковского (Калуга, Россия);
Вербицкая О.М. к. филол. н., Иркутский Государственный Университет (Иркутск, Россия).

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия);
Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия);
Герасимова Л.Г. д-р техн. наук, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (Апатиты, Россия);
Курасов В.С. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Оськин С.В. д-р техн. наук, проф. Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия).

Педагогические науки:

Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
Лукьянова М.И. д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);
Ходакова Н.П. д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

Психологические науки:

Розенова М.И. д-р психол. наук, проф., Московский государственный психолого-педагогический университет (Москва, Россия);
Ивков Н.Н. д-р психол. наук, Российская академия образования (Москва, Россия);
Каменская В.Г. д-р психол. наук, к. биол. наук, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (Елец, Россия).

Физико-математические науки:

Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия);
Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Государственный Научный Центр ЦНИИчермет им. И.П. Бардина (Москва, Россия);
Свиштунов Ю.А. д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к. техн. наук проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылеев В.А. д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);
Огуреева Г.Н. д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

Биологические науки:

Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия);
Еськов Е.К. д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);
Ларионов М.В., д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия).

Архитектура:

Янковская Ю.С. д-р архитектуры, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Ветеринарные науки:

Алиев А.С. д-р ветеринар. наук, проф., Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия);

Татарникова Н.А. д-р ветеринар. наук, проф., Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова (Пермь, Россия).

Медицинские науки:

Никольский В.И. д-р мед. наук, проф., Пензенский государственный университет (Пенза, Россия);

Ураков А.Л. д-р мед. наук, Ижевская Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

Исторические науки:

Меерович М.Г. д-р ист. наук, к. архитектуры, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Россия);

Бакулин В.И. д-р ист. наук, проф., Вятский государственный университет (Киров, Россия);

Бердинских В.А. д-р ист. наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Россия);

Лёвочкина Н.А. к. ист. наук, к. экон. наук, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);

Блейх Н.О. д-р ист. наук, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова (Владикавказ, Россия).

Культурология:

Куценков П.А. д-р культурологии, к. искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Искусствоведение:

Куценков П.А. д-р культурологии, к. искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Философские науки:

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);

Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);

Цыганков П.А. д-р филос. наук., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

Лойко О.Т. д-р филос. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

Юридические науки:

Костенко Р.В. д-р юрид. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);

Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Северо-Кавказский федеральный университет в г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);

Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);

Ергашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

Важов В.М. д-р с.-х. наук, проф., Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина (Бийск, Россия);

Раков А.Ю. д-р с.-х. наук, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Михайловск, Россия);

Комлацкий В.И. д-р с.-х. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);

Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Белгород, Россия);

Наумкин В.П. д-р с.-х. наук, проф., Орловский государственный аграрный университет.

Социологические науки:

Замараева З.П. д-р социол. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия);

Солодова Г.С. д-р социол. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);

Кораблева Г.Б. д-р социол. наук, Уральский Федеральный Университет (Екатеринбург, Россия).

Химические науки:

Абдиев К.Ж. д-р хим. наук, проф., Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);

Мельдешов А. д-р хим. наук, Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);

Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия).

Науки о Земле:

Горяинов П.М. д-р геол.-минерал. наук, проф., Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Апатиты, Россия).

Экономические науки:

Лёвочкина Н.А. д-р экон. наук, к. ист. н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);

Ламоттке М.Н. к. экон. н., Нижегородский институт управления (Нижний Новгород, Россия);

Акбулаев Н. к. экон. н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан);

Кулиев О. к. экон. н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан).

Политические науки:

Завершинский К.Ф. д-р полит. наук, проф. Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Фармацевтические науки:

Тринеева О.В. к. фарм. н., Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия);

Кайшева Н.Ш. д-р фарм. наук, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия);

Ерофеева Л.Н. д-р фарм. наук, проф., Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия);

Папанов С.И. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);

Петкова Е.Г. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);

Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия);

Ураков А.Л., д-р мед. наук, Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Аксенов С.Г., Елизарьев А.Н., Синагатуллин Ф.К., Эпимахов Н.Л., Жирнов А.В., Тараканов Д.А., Михайлов С.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ АВАРИИ НА ПОДВОДНОМ ПЕРЕХОДЕ ГАЗОПРОВОДА	6
Балалаев А.Н., Тимкин Д.М. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ТИПА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА	12
Беспалов В.И., Самарская Н.С., Астафуров Р.С. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ДЛЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	20
Богданов Н.Л. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ТОВАРОВЕДНАЯ ОЦЕНКА МАЙОНЕЗНЫХ СОУСОВ	25
Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. ОЦЕНИВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СКАЛЯРНОГО И ВЕКТОРНОГО ПАРАМЕТРОВ СГЛАЖИВАЮЩЕГО БИКУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА	31
Гагарин В.Ю., Вагнер А.В., Тропченко А.А. ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ С МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GRPC В КАЧЕСТВЕ ПРОТОКОЛА МЕЖСЕРВИСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПЛАТФОРМЫ .NET CORE 3 НА ПЛАТФОРМУ .NET 6	40
Дарманян А.П., Богданов С.И., Маркин М.А. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ	44
Елисеева Л.Г., Белкин Ю.Д., Симина Д.В., Осман Али, Молодкина П.Г., Сантурян Т.А. НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ОБОГАЩЕННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ	50
Завойкин В.А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ БОРТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ	56
Закревская Л.В., Гавриленко А.А., Капуш И.Р., Любин П.А. ЛЕГКИЙ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ ДИАТОМИТОВЫХ ПОРОД И БЕТОНА НА ЕГО ОСНОВЕ.....	60
Кузьмин О.С., Куликова Е.С., Заев В.В. РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА НАРУЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ.....	68
Медведева Л.В., Романов Н.Н., Симонова М.А. КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРОВ ПРОЛИВОВ ЖИДКИХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ.....	72
Павлова К.С., Панюшкин П.В., Горбаченко И.М. РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ МАГАЗИНА ПО ПРОДАЖЕ ШОКОЛАДА.....	81
Пировских Е.А., Бегунков О.И., Бегункова Н.О. РАССМОТРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ЛИСТВЕННИЦЫ	91
Титков И.П., Карпунин А.А. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕАЛИЗУЕМЫХ НАЗНАЧЕНИЯХ ЦЕЛЕВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ БПЛА И ОПРЕДЕЛЕНИИ ОЧЕРЕДНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ФОРМАЦИИ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ТРАЕКТОРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	95
Трофимец Е.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ RSA-ШИФРОВАНИЯ В MS EXCEL.....	110
Чусовитин Н.А., Чусовитин Г.Н. АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА	121

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Андропова А.А., Вайс А.А., Калачев В.А., Ануев Е.А., Попова В.В. РАЗЛИЧИЕ ТИПОВ ЛЕСА ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО СОВОКУПНОСТИ ТАКСАЦИОННЫХ И ОРОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В УСЛОВИЯХ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА.....	128
---	-----

Камышова Г.Н., Терехова Н.Н. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ	133
Карамян А.С. РАСПОЗНАВАНИЕ БОЛИ И СТРЕССА У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ.....	140
Корепанов Д.А., Шведова Т.Е., Митякова И.И., Ефимова Т.Н. УЛУЧШЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ ОТРАБОТАННОГО ГИДРОПОННОГО РАСТВОРА КОРОТКОВОЛНОВЫМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ.....	143
Кровикова А.Н., Бакай Ф.Р., Мехтиева К.С. ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ У КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ	149
Микеладзе Ш.Э., Бунькова Н.П., Азаренок В.А., Михайлов Ю.Е., Фомин В.В. ПРОБЛЕМА СОСТАВА И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСОПАРКОВ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА	153
Мухтарова О.М. ОЦЕНКА БЫКОВ ПО ЭНЕРГИИ РОСТА СЫНОВЕЙ.....	158
Остонакулов Т.Э., Шамсиев А.А., Амантурдиев И.Х. Турсунов Г.С. ОЦЕНКА СОРТОВ БАТАТА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ ...	162
Пакуль А.Л., Ямщиков М.А., Пакуль В.Н. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ЧЕРНОЗЁМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	170
Раджабов Р.Г., Гак Ю.М. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОДУКТИВНЫХ И ИНТЕРЬЕРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЫЧКОВ РАЗНЫХ ПОРОД	175
Романов Б.В., Сорокина И.Ю. ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЛИНИЯ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	179
Симоненко С.В., Антипова Т.А., Фелик С.В., Андросова Н.Л., Кудряшова О.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ	184
Сураев П.Н., Азаренок В.А., Залесов С.В., Михайлов Ю.Е., Фомин В.В. ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРОЧНЫХ ТРУБОК В СРЕДНЕ-УРАЛЬСКОМ ТАЕЖНОМ ЛЕСНОМ РАЙОНЕ	188

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.002>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ АВАРИИ НА ПОДВОДНОМ ПЕРЕХОДЕ ГАЗОПРОВОДА

Научная статья

Аксенов С.Г.¹, Елизарьев А.Н.², Синагатуллин Ф.К.³, Эпимахов Н.Л.^{4,*}, Жирнов А.В.⁵, Тараканов Д.А.⁶, Михайлов С.А.⁷

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

* Корреспондирующий автор (nikelon32[at]gmail.com)

Аннотация

В данной статье рассмотрены аспекты моделирования возможной обстановки в чрезвычайной ситуации, связанной с аварией на подводном газопроводе вблизи железно-дорожного моста. Выявлены существующие риски при построении подводного газоперевода вблизи железнодорожного моста, спроектированы сценарии чрезвычайной ситуации, а также проведен комплексный анализ полученных данных в ходе исследования. Смоделированные сценарии при чрезвычайной ситуации на подводном газопроводе позволяют использовать данную методику на аналогичных объектах исследования.

Ключевые слова: экологическая безопасность, пожарная безопасность, безопасность системы газопроводов.

MODELING OF A FIRE AND EXPLOSIVE SITUATION IN AN ACCIDENT AT AN UNDERWATER GAS PIPELINE CROSSING

Research article

Aksenov S.G.¹, Elizaryev A.N.², Sinagatullin F.K.³, Epimakhov N.L.^{4,*}, Zhirnov A.V.⁵, Tarakanov D.A.⁶, Mikhaylov S.A.⁷

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

* Corresponding author (nikelon32[at]gmail.com)

Abstract

This article discusses aspects of modeling a possible situation in an emergency situation related to an accident on an underwater gas pipeline near a railway bridge. The existing risks in the construction of an underwater gas pipeline near a railway bridge were identified, emergency scenarios were designed, and a comprehensive analysis of the data obtained during the study was carried out. Simulated scenarios in case of an emergency on an underwater gas pipeline allow using this technique on similar research objects.

Keywords: environmental safety, fire safety, safety of the gas pipeline system.

На сегодняшний день рост и развитие городских агломераций приводит к освоению территорий, располагающихся в зонах сложной природной обстановки, что объясняет возникновения воздействия опасных природных процессов на городскую инфраструктуру. На территории Российской Федерации более 135 городов подвержены воздействию опасных природных процессов, среди которых особое развитие получили процессы гидрологического и геологического характера.

Кроме того, современные урбанизированные территории сосредотачивают значительное количество объектов, представляющих опасность возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций. Особую опасность представляют нефтяные, химические, пищевые объекты промышленности, а также объекты энергетики и особо важные для городов транспортные системы. Например, железнодорожный транспорт составляет основу транспортной системы России и призван во взаимодействии с другими видами транспорта своевременно и качественно обеспечивать жизнедеятельность всех отраслей экономики, не менее важна роль трубопроводов при передаче энергоресурсов. Таким образом, урбанизированная территория характеризуется пересечениями линейных объектов - природных и техногенных, а высокая плотность населения обуславливает угрозу жизни и здоровью людей.

В связи с этим особую важность приобретает моделирование обстановки при возможных авариях на подводном переходе газопровода для разработки превентивных мероприятий по защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций при воспламенении газовойоздушной смеси.

Чрезвычайные ситуации, связанные с транспортировкой углеводородных газов, в настоящее время происходят все чаще, в связи с нарастанием объемов производства и газопотребления, а также из-за высокой степени износа существующих сетей. Особую опасность представляют такие ЧС в пределах урбанизированных территорий, поскольку защита населения и территории от поражающих факторов пожаров и взрывов требует оперативной ликвидации ЧС (рис. 1) [1].



Рис. 1 – Опасности транспортировки газа в пределах урбанизированной территории

К подводным переходам относятся участки магистральных трубопроводов, пересекающие естественные или искусственные водоемы. Границы подводного перехода определяются уровнем воды в водоеме 10%-ной обеспеченности, т. е. уровнем воды в водоеме, до которого вода может подниматься в течение ста лет до 10 раз. В не регулируемых реках этот горизонт бывает лишь при очень значительных паводках. Надежная работа подводных переходов в течение расчетного срока их эксплуатации обеспечивается выбором обоснованного решения о заглублении трубопровода в русловой части реки на береговых ее участках, а также соответствующих конструктивных решений.

Результаты обследований большого числа газопроводов показывают, что все многообразие размывов трубопроводов, встречающихся на практике, можно отнести к следующим типам: размывы (рис. 2) в средней части русла и размывы приустьевых и береговых участков [2].

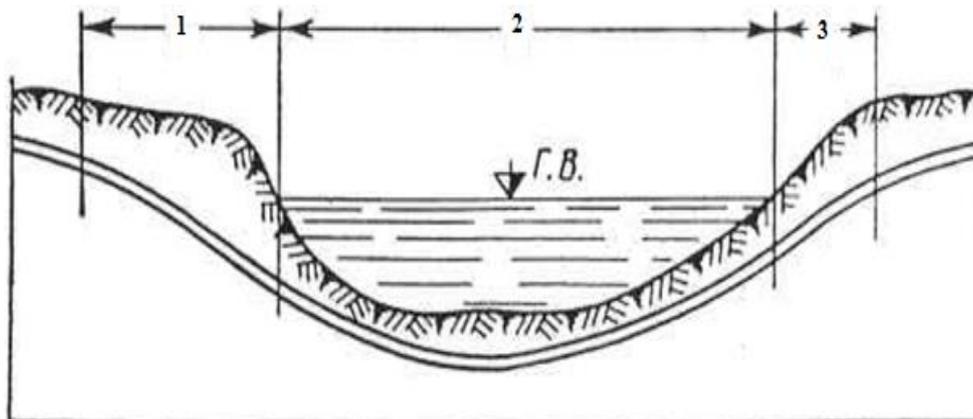


Рис. 2 – Характерные участки размыва в створах переходов газопроводов через водный объект:
1 и 3 – приустьевые участки размыва; 2 – размывы в средней части русла

Возможные размывы участка перехода представляют большую опасность вследствие значительной трудности точного определения максимальных плановых переформирований. Имеется опасность повреждения трубопровода от гидродинамического воздействия потока, ледохода, а также якорями и волокушами судов и плотов. Так, например, на водной обстановке наблюдается посадка уровня, вызванная как природным, так и антропогенным факторами. В частности, на навигационном участке реки от г. Стерлитамака до г. Бирска за весь рассматриваемый период происходят ежегодные флуктуации повышений и понижений уровней воды при неизменных расходах с общим трендом к понижению [3]. Для учета оценки рисков, возникающих при повреждении подводного перехода газопровода, проведен анализ с помощью дерева отказов по методике МИСУИ [ГОСТ Р 54144-2010](рис. 3).

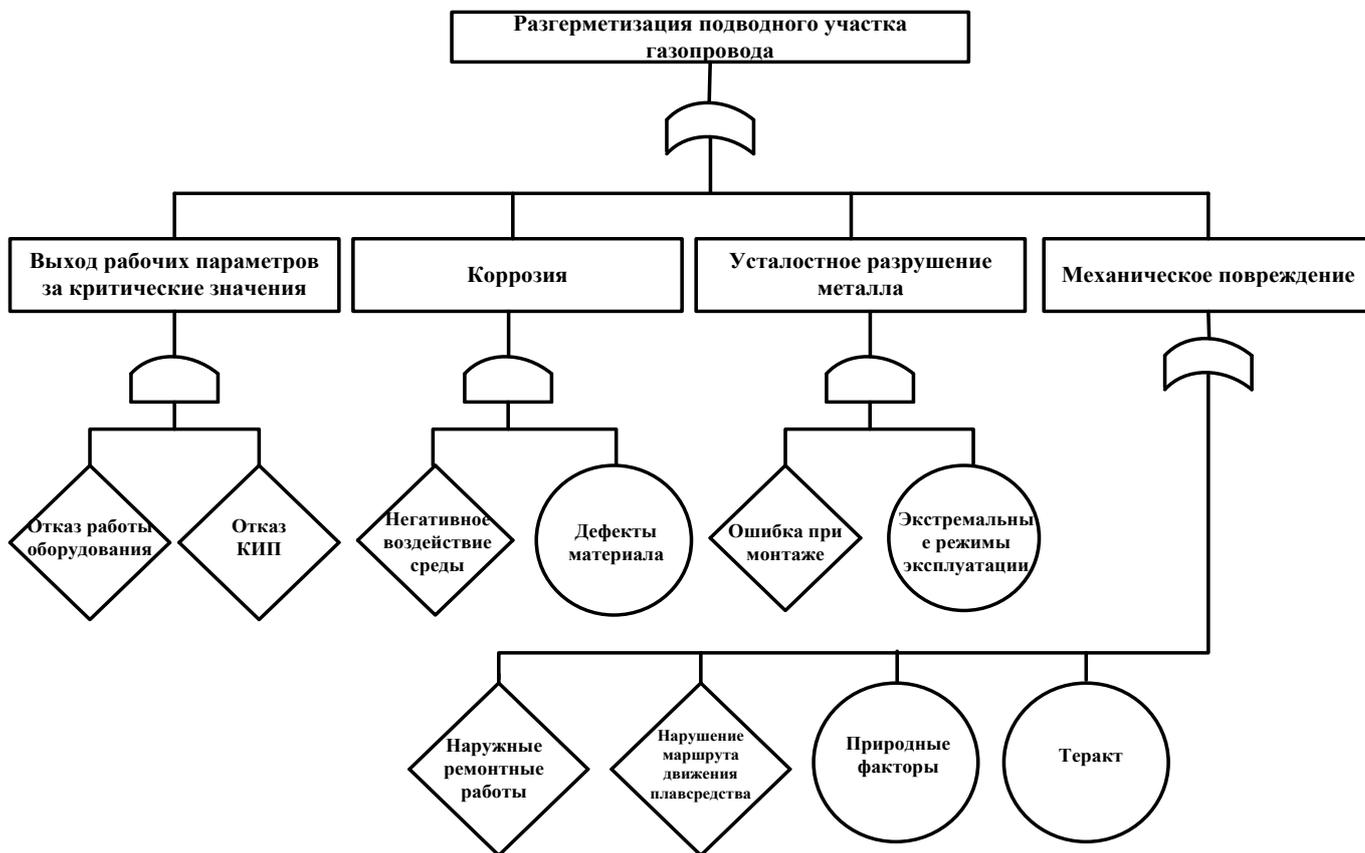


Рис. 3 – Дерево отказов ЧС, вызванной разгерметизацией подводного участка газопровода

С учетом потенциального повреждения подводного перехода газопровода моделирование обстановки при аварии на подводном переходе газопровода может быть реализовано по предложенной схеме (рис. 4).

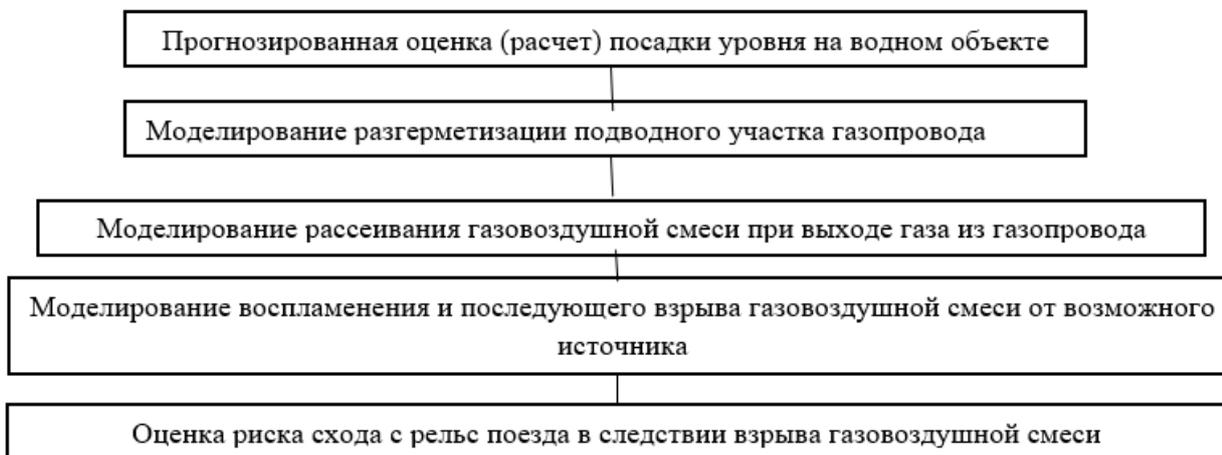


Рис. 4 – Алгоритм моделирования пожаро-взрывоопасной обстановки при аварии на подводном переходе газопровода

На втором этапе с помощью программы AutoDesk проведено моделирование разгерметизации газопровода при столкновении с днищем плавсредства. Результат моделирования показан на рисунке 5.

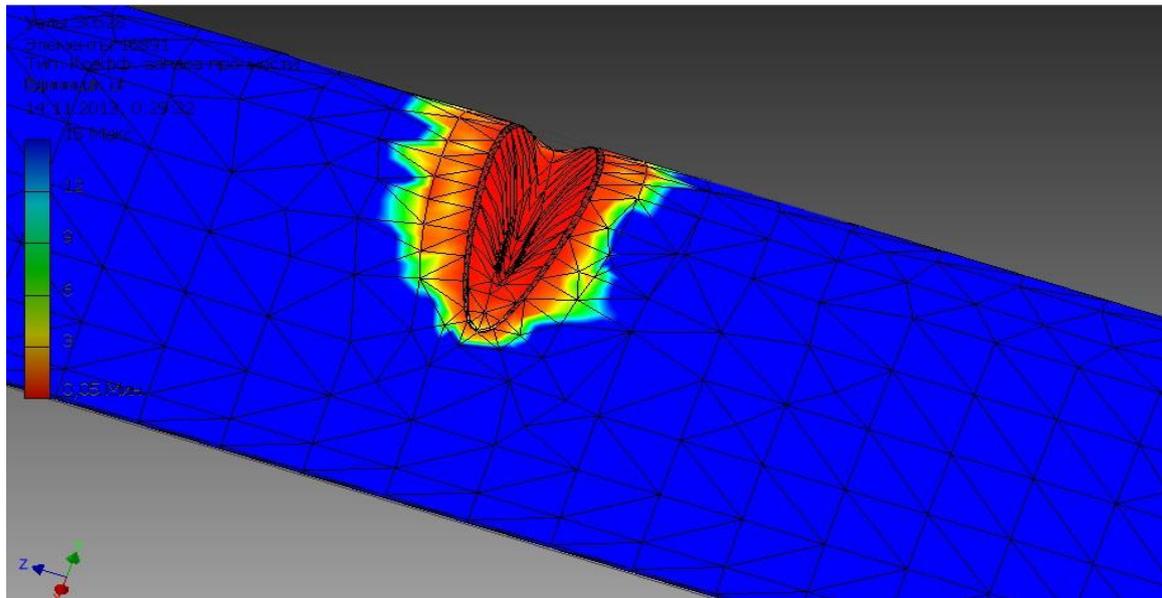


Рис. 5 – Результаты моделирования разгерметизации газопровода при столкновении с плавредством

На третьем этапе проведено моделирование формирования и рассеивание газозвушной смеси в следствии выхода газа из газопровода.

Для определения массы газа, вырвавшегося при разгерметизации газопровода в качестве исходных использовались данные: время срабатывания запорной арматуры, $T=120$ с, внутренний радиус газопровода $r = 300$ мм, давления в трубопроводе = 3,0 МПа.

Исходя из рассматриваемого сценария ЧС, определим массу, горючих газов, вышедших в атмосферу из газопровода по формуле: $m = V_T * \rho_g$ где V_T — объем газа, вышедшего из трубопроводов, m^3 .

ρ_g – плотность газа, составляет 2,1 кг/ m^3 (при давлении в трубопроводе 3,0 МПа). Объем газа вышедший из трубопровода до срабатывания отсечного клапана получаем:

$$V_T = 212,4 + 11,3 = 223,7 \text{ м}^3$$

$$m = 223,7 \cdot 2,1 = 11527,7 \text{ кг}$$

При разгерметизации подводного участка газопровода вблизи ж/д переезда через реку образуется газозвушное облако массой 11527,7 кг [4]. С учетом условий и особенностей местности облако, во время движения в юго-восточном направлении, рассеивалось. Так, например, на расстоянии 500м масса изменилась из 11527,7 кг до 450 кг. Если в данной точке с уменьшенным объемом облака будет проезжать поезд, произойдет воспламенение смеси.

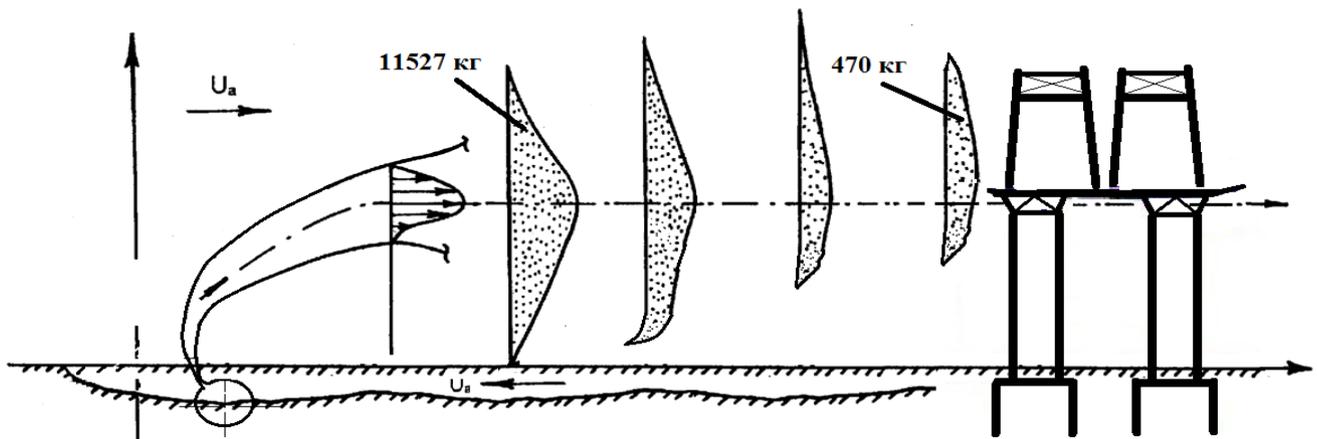


Рис. 6 – Выход газа при разгерметизации подводного участка газопровода:
 U_1 – направление движения воды; U_2 – направление движения воздуха [5]

Тогда на 4 этапе смоделирован взрыв газозвушной смеси в следствии разгерметизации и последующего выхода смеси (рисунок 7).

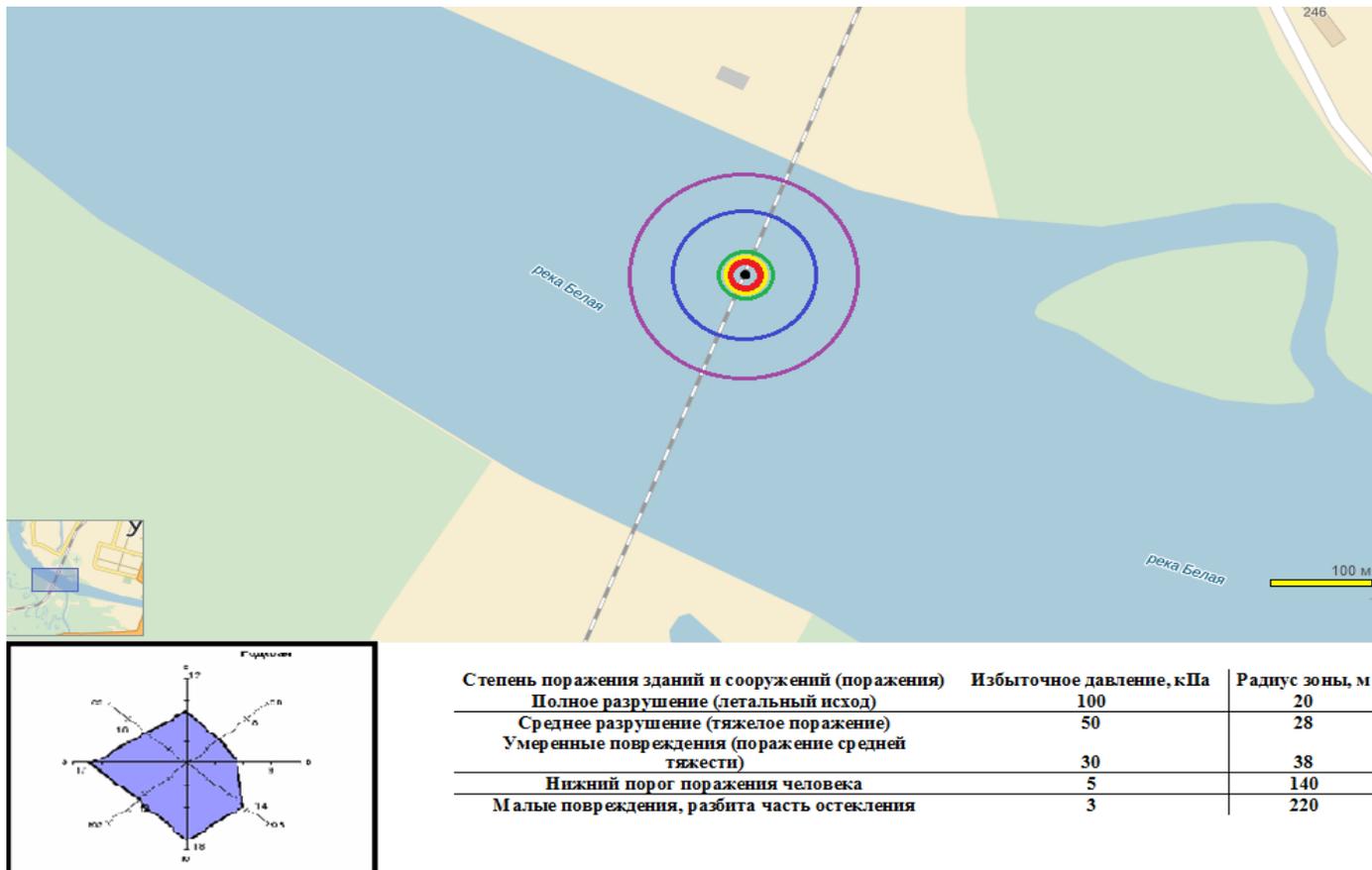


Рис. 7 – Зоны действия воздушной ударной волны при взрыве парогазового облака

Из рисунка 7 видно, что при взрыве газа избыточное давление значением более 100 кПа будет распространяться соответствует нижнему порогу повреждения человека волной давления [6], [7].

На 5 этапе рассмотрена ситуация с учетом проезда поезда по железнодорожному мосту во время взрыва газозвушной смеси:

При оценке последствий ЧС, вызванной разгерметизацией подводного участка газопровода, по опасному сценарию, существует вероятность прохождения пассажирского поезда по мосту. В связи с этим проведена оценка воздействия ударной волны на поезд [8]. Расчётная схема пассажирского вагона на опрокидывание приведена на рисунке 8.

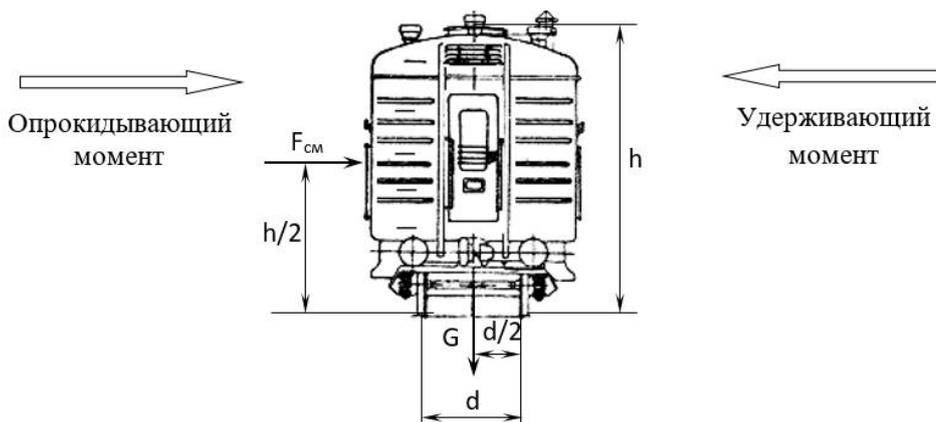


Рис. 8 – Расчётная схема вагона на опрокидывание

Из рисунка 6 видно, что на пассажирский вагон действуют два момента - опрокидывающий от действия воздушной ударной волны и удерживающий от собственного веса вагона. Условием равновесия является равенство опрокидывающего и удерживающего моментов. В этой связи, если $F_{см} \cdot h/2 < G \cdot d/2$, то опрокидывание не происходит.

На основании сравнения полученных результатов расчёта значения избыточного давления необходимого и достаточного для создания опрокидывающего момента, превышающего удерживающий, со значением избыточного давления, действующего на вагон в результате возникновения ЧС, можно сделать вывод о высокой вероятности схода с рельс вагонов проходящего пассажирского поезда.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о том, что прокладка газопроводов, пересекающих реки и водоемы требует четкого прогнозирования всех возможных чрезвычайных ситуаций. Предложенный алгоритм моделирования может быть применен для аналогичных участков любой урбанизированной территории, с учетом комплексного подхода к исполнению различного методичного, а также природных особенностей территории.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Елизарьев А. Н. Комплексная оценка экологического состояния водоемов урбанизированных территорий (на примере г. Уфа) / А. Н. Елизарьев, А. Н. Насыров, Э. С. Насырова // *Вода: химия и экология*. – 2015. – № 9 (87). – С. 3-11.
2. Концептуальные основы оценки экологического риска деградации речных 22 экосистем при осуществлении водопользования. / Н. Н. Красногорская, Т. Б. Фащевская, А. Н. Елизарьев и др. // *Безопасность жизнедеятельности*. 2006. – №11. – С.23-28.
3. Елизарьев А. Н. Оценка антропогенного воздействия на гидроэкологический режим водных объектов (на примере р. Белой). : дис. ... канд. географ. наук / Елизарьев Алексей Николаевич. - Уфа, 2007. – 185 с.
4. Оценка изменений водности реки Белой как фактора обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. / Н. Н. Красногорская, Т. Б. Фащевская, А. Н. Елизарьев и др. // *Безопасность жизнедеятельности*. – 2009. – № 2. – С. 20-26.
5. Завгороднев А.В. Теоретические основы рассеивания в атмосфере организованных нестационарных выбросов газа на объектах транспортных предприятий. / А. В. Завгороднев, Г. С. Аكوпова, А. В. Мельников // *Территория Нефтегаз*. – 2011. – № 10. – С. 68-73.
6. Развитие методических основ оценки риска ЧС в резервуарных парках с использованием методов системного анализа. / Аксенов С. Г., Елизарьев А. Н., Манякова Г. М. и др. // *Успехи современного естествознания*, 2018, – № 2. – С. 131.
7. Януш С. Е. Расчет ударных волн при взрыве резервуара высокого давления со сжиженным газом. / С. Е. Януш // *Физика горения и взрыва*. – 2020. – Т. 56. № 4. – С. 83-92.
8. ГОСТ 33211-2014. Требования к показателям динамических качеств и устойчивости к выжиманию и опрокидыванию при движении.
9. Дубнюк Д. В. Анализ способов обеспечения безопасной работы подводных переходов магистральных трубопроводов. / Д. В. Дубнюк // *Аллея науки*. – 2018. – Т. 1. № 8 (24). – С. 107-111.
10. Демченко Е. В. Анализ способов обеспечения безопасной работы подводных переходов магистральных трубопроводов. / Е. В. Демченко // *Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXII сб. науч. Тр. / Томский политехнический университет, Томск. –Томск, 2018. – С. 604-605.*

Список литературы на английском языке / References in English

1. Elizariev A. N. Kompleksnaya ocenka e kologicheskogo sostoyaniya vodoemov urabinizirovanny territorij (na primere g. Ufa) [comprehensive assessment of the ecological state of reservoirs of urbanized territories (on the example of Ufa)]. / A. N. Elizariev, A. N. Nasyrov, E. S. Nasyova // *Voda: himiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology]. – 2015. –No. 9 (87). – pp. 3-11. [in Russian]
2. Konceptualnye osnovy ocenki e kologicheskogo riska degradacii rechny 22 ekosistem pri osushhestvlenii vodopolzovaniya [Conceptual foundations for assessing the ecological risk of degradation of river 22 ecosystems in the implementation of water use]. / N. N. Krasnogorskaya, T. B. Fashhevskaya, A. N. Elizariev et al. // *Bezopasnost zhiznedeyatelnosti* [Life safety]. – 2006. – №11. – pp.23-28. [in Russian]
3. Elizariev A.N. Ocenka antropogennogo vozdejstviya na gidroekologicheskij rezhim vodny obektov (na primere r. Beloj) [Assessment of anthropogenic impact on the hydroecological regime of water bodies (on the example of the Belaya River)]. : dis. ... kand. geograf. nauk [diss. of cand. of geograph. sciences] / Elizariev Aleksej Nikolaevich. – Ufa, 2007. – 185 p.
4. Ocenka izmenenij vodnosti reki Beloj kak faktora obespecheniya bezopasnosti zhiznedeyatelnosti cheloveka [Assessment of changes in the water content of the Belaya River as a factor in ensuring the safety of human life]. / N. N. Krasnogorskaya, T. B. Fashhevskaya, A. N. Elizariev et al. // *Bezopasnost` zhiznedeyatel`nosti* [Life safety]. – 2009. – № 2. – pp. 20-26. [in Russian]
5. Zavgorodnev A.V. Teoreticheskie osnovy rasseivaniya v atmosfere organizovanny nestacionarny vybrosovgaza na obektax transportny predpriyatij [theoretical foundations of dispersion in the atmosphere of organized non-stationary] / A. V. Zavgorodnev, G. S. Akopova, A. V. Melnikov // *Territoriya Neftegaz* [Naftogaz territory]. – 2011. – № 10. – pp. 68-73.
6. Razvitiya metodicheski osnov ocenki riska ChS v rezervuarly parkah s ispolzovaniem metodov sistemnogo analiza [Development of methodological foundations for assessing the risk of emergencies in tank farms using methods of system analysis]. / Aksenov S. G., Elizariev A. N., Manyakova G. M. et al. // *Uspshi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern Natural Science]. – 2018, – № 2. – pp. 131. [in Russian]
7. Yanush S. E. Raschet udarnyh voln pri vzryve rezervuara vysokogo davleniya so szhizhennym gazom [calculation of shock waves during explosion of a high-pressure tank with liquefied gas]. / S. E. Yanush // *Fizika goreniya i vzryva* [Physics of combustion and explosion]. – 2020. – vol. 56. № 4. – pp. 83-92. [in Russian]
8. GOST 33211-2014. Trebovaniya k pokazatelyam dinamicheski kachestv i ustojchivosti k vyzhimaniyu i oprokidyvaniyu pri dvizhenii [Requirements for indicators of dynamic qualities and resistance to squeezing and tipping when driving]. [in Russian]
9. Dubnyuk D. V. Analiz sposobov obespecheniya bezopasnoj raboty podvodnyh perehodov magistralnyh truboprovodov [analysis of ways to ensure the safe operation of underwater crossings of main pipelines]. / D. V. Dubnyuk // *Alleya nauki* [Alley of Science]. – 2018. – Vol. 1. № 8 (24). – pp. 107-111. [in Russian]
10. Demchenko E. V. Analiz sposobov obespecheniya bezopasnoj raboty podvodnyh perehodov magistralnyh truboprovodov [analysis of ways to ensure the safe operation of underwater crossings of main pipelines]. / E. V. Demchenko // *Problemy geologii i osvoeniya neдр.* [problems of geology and subsoil development] / *Tomskij politehnicheskij universitet* [Tomsk Polytechnic University], Tomsk. –Tomsk, 2018. – pp. 604-605. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.003>

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ТИПА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Научная статья

Балалаев А.Н.^{1,*}, Тимкин Д.М.²

¹ ORCID: 0000-0003-0839-6858;

² ORCID: 0000-0002-6627-2151;

^{1,2} Самарский университет путей сообщения, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (wagon.samgaps[at]mail.ru)

Аннотация

Новые типы теплоизоляции, в том числе, вакуумная теплоизоляция имеют лучшие теплоизоляционные свойства, но большую себестоимость изготовления, чем используемые в настоящее время в конструкции кузовов пассажирских вагонов. Цель данного исследования состоит в оценке затрат на производство нового типа теплоизоляции и экономического эффекта от улучшения эксплуатационных характеристик пассажирского вагона с кузовом, содержащим новый тип теплоизоляции. Предложена методика оценки привлекательности проекта внедрения вакуумной теплоизоляции в ограждении кузова пассажирского вагона, найдено экономически обоснованное значение оптимальной толщины вакуумных теплоизоляционных панелей в конструкции ограждения кузова пассажирского вагона. Разработаны два инвестиционных проекта изготовления двумя разными способами вакуумных теплоизоляционных панелей для партии пассажирских вагонов. Определены оптимальные значения программы оснащения пассажирских вагонов вакуумными теплоизоляционными панелями в зависимости от способа их изготовления. Найдены сроки окупаемости двух инвестиционных проектов.

Ключевые слова: вакуумная теплоизоляция, кузов пассажирского вагона, эксплуатационные характеристики, инвестиционный проект, оценка инвестиционной привлекательности.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE ATTRACTIVENESS OF AN INVESTMENT PROJECT FOR THE INTRODUCTION OF A NEW TYPE OF THERMAL INSULATION OF A PASSENGER CAR

Research article

Balalaev A.N.^{1,*}, Timkin D.M.²

¹ ORCID: 0000-0003-0839-6858;

² ORCID: 0000-0002-6627-2151;

^{1,2} Samara University of Railway Transport, Samara, Russia

* Corresponding author (wagon.samgaps[at]mail.ru)

Abstract

New types of thermal insulation, including vacuum thermal insulation, have better thermal insulation properties; however, they have a higher production cost than those currently used in the construction of train passenger car bodies. The purpose of this study is to assess the costs of producing a new type of thermal insulation and the economic effect of improving the operational characteristics of a passenger car with a body containing a new type of thermal insulation. The study proposes a methodology for assessing the attractiveness of the project of introducing vacuum thermal insulation in the passenger car body enclosure and finds an economically justified value of the optimal thickness of vacuum thermal insulation panels in the construction of the passenger car body enclosure. The study also introduces two investment projects for the manufacture of vacuum thermal insulation panels for a batch of passenger cars in two different ways. The authors determines the optimal values of the program for equipping passenger cars with vacuum thermal insulation panels depending on the method of their manufacture and finds the payback periods of two investment projects.

Keywords: vacuum thermal insulation, passenger car body, operational characteristics, investment project, investment attractiveness assessment.

Введение

Кузов пассажирского вагона должен обеспечивать во всех климатических зонах России комфортные условия для пассажиров, что достигается применением системы кондиционирования летом и системы отопления зимой. Для снижения теплопритоков внутрь вагона летом и теплопотерь из вагона зимой в конструкции ограждения кузова пассажирского вагона предусмотрена теплоизоляция определенной толщины. Толщина теплоизоляции влияет на эксплуатационные характеристики пассажирского вагона. Увеличение толщины теплоизоляции с одной стороны снижает затраты на кондиционирование вагона летом и отопление его зимой, а с другой стороны повышает затраты на изготовление теплоизоляции, на ее ремонт и утилизацию после окончания срока службы пассажирского вагона. При появлении новых типов теплоизоляции необходимо определить ее оптимальную толщину в конструкции кузова пассажирского вагона и оценить инвестиционную привлекательность проекта внедрения нового типа теплоизоляции пассажирского вагона.

Таким образом, актуальной задачей является разработка методики оценки инвестиционной привлекательности проекта внедрения нового типа теплоизоляции в конструкции кузова пассажирского вагона, учитывающей затраты на изготовление теплоизоляции, на ее ремонт и утилизацию после окончания срока службы, а также экономию затрат энергии на поддержание комфортных условий для пассажиров.

Целью данной работы является разработка такой методики, а также обоснование с ее помощью инвестиционных проектов внедрения нового типа теплоизоляции в конструкции ограждения кузова пассажирского вагона.

В [1, С. 50] предложено использовать вакуумные панели сотового профиля в качестве теплоизоляции пассажирских вагонов, теоретически исследовались их массовые и теплоизоляционные характеристики. В [2, С. 13] исследования теплоизоляционных характеристик таких панелей выполнялось в SolidWorks Simulation с помощью метода конечных элементов с учетом передачи тепла за счет теплопроводности. Экспериментальные исследования вакуумных панелей сотового профиля, основанные на использовании теплового режима с постоянным темпом нагрева эталонных пластин, описаны в работе [3].

Теоретические и экспериментальные исследования вакуумной теплоизоляции показали ее теплотехническую эффективность, однако, стоимость изготовления такой теплоизоляции гораздо выше, чем у применяемых в настоящее время в пассажирских вагонах теплоизоляционных материалов.

В работе [4] был предложен алгоритм сравнения кузова пассажирского вагона с использованием вакуумных теплоизоляционных панелей с существующей конструкцией кузова по нескольким критериям: энергетическим эксплуатационным характеристикам, объемным характеристикам, затратам на изготовление, ремонт и техническое обслуживание. В работе [5] было исследовано влияние толщины вакуумных теплоизоляционных панелей на их массовые и теплоизоляционные характеристики, а также на величину снижения удельных теплопритоков летом и удельных теплопотерь зимой в пассажирском вагоне при различных температурах наружного воздуха. В работе [5] было отмечено, что алгоритм учета влияния толщины вакуумных теплоизоляционных панелей может использоваться, если известны величины годового хода среднесуточной температуры для конкретной области России, а также годовой бюджет времени эксплуатации пассажирского вагона в этой области.

В задачи данного исследования входит конкретизация алгоритмов, описанных в [4] и [5], в виде инженерной методики и расчет по этой методике инвестиционных проектов внедрения вакуумных теплоизоляционных панелей в конструкции ограждения кузова пассажирского вагона при различных технологиях изготовления таких панелей.

Методы и принципы исследования

Основным методом исследования является математическое моделирование процесса теплообмена пассажирского вагона с окружающей средой с использованием уравнений переноса тепла теплопроводностью и конвекцией на стационарном режиме.

В известных методиках расчетов [6], [7] мощность теплопритоков летом и тепловых потерь зимой находится по формуле:

$$Q_1 = K_{\text{пр}} F |T_{\text{н}} - T_{\text{в}}| \quad (1)$$

где $K_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент теплопередачи кузова, Вт/(м² К); $T_{\text{н}}$, $T_{\text{в}}$ – заданные значения температуры воздуха снаружи и внутри вагона, К; F – площадь поверхности теплопередачи кузова вагона, м².

Приведенный коэффициент теплопередачи кузова $K_{\text{пр}}$, используемый в формуле (1), находится путем осреднения расчетных коэффициентов $K_{\text{расч } i}$, определяемых для различных стен пассажирского вагона, по площади [6]:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\sum_i K_{\text{расч } i} \cdot F_i}{F} \quad (2)$$

Где i – число стен пассажирского вагона, различающихся условиями теплообмена, F_i – площадь стен с различающимися условиями теплообмена, Вт/(м² К).

Расчетные коэффициенты теплопередачи $K_{\text{расч } i}$, используемые в формуле (2), находятся по известной формуле [6]:

$$K_{\text{расч } i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum_j \frac{\delta_{i,j}}{\lambda_{i,j}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}} \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружного воздуха, Вт/(м² К); j – число слоев ограждения стенки пассажирского вагона; $\delta_{i,j}$ – толщина слоя j стенки i кузова пассажирского вагона, м; $\lambda_{i,j}$ – коэффициент теплопроводности слоя j стенки i кузова пассажирского вагона, Вт/(м К); $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи воздуха внутри пассажирского вагона, Вт/(м² К).

Коэффициент теплоотдачи наружного воздуха $\alpha_{\text{н}}$ находится, согласно [8], по эмпирической формуле, учитывающей скорость движения поезда и радиационный теплообмен

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} + \frac{0,7 V + 15}{L^{0,2}} \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент теплоотдачи за счет радиационного теплообмена (для зимних условий принимается $\alpha_{\text{р}} = 4,652$ Вт/(м² К), для летних – $\alpha_{\text{р}} = 9,3$ Вт/(м² К)); V – средняя скорость движения подвижного состава, км/ч; L – длина теплопередающей поверхности, омываемой потоком воздуха, м.

Коэффициент теплоотдачи воздуха внутри пассажирского вагона α_v считается постоянным и равным, согласно [7], $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

Предлагается использовать вакуумные теплоизоляционные панели в конструкции ограждения кузова пассажирского вагона так, как описано в патенте на полезную модель [9]. Конструкция стенки предлагаемого ограждения кузова пассажирского вагона показана на рис. 1.

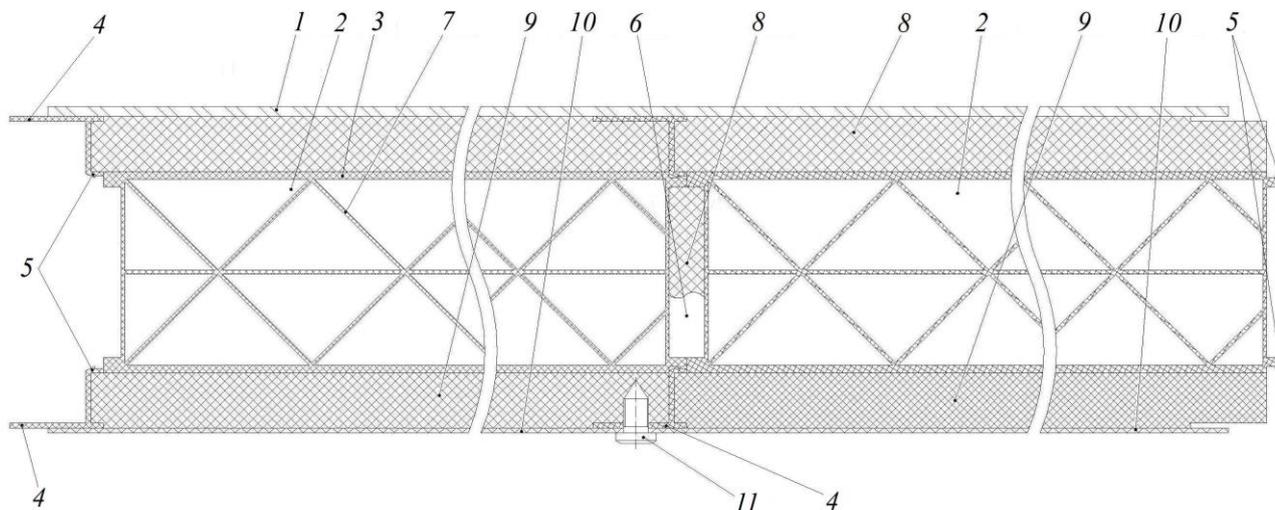


Рис. 1 – Местный разрез стенки с соединением двух вакуумных теплоизоляционных панелей:

1 – наружная стальная стенка, 2 – вакуумный теплоизоляционный элемент, 3 – внешняя обечайка, 4 – кронштейн-ограничитель, 5 – разъемное соединение типа «защелка», 6 – зазор, 7 – внутренние ребра жесткости, 8 – вспененный теплоизоляционный материал, 9 – звукоизоляционный материал, 10 – внутренняя декоративная стенка, 11 – крепежный элемент

Величины толщины и коэффициентов теплопроводности слоев стенки, показанной на рисунке 1, сведены в таблицу 1. В качестве коэффициента теплопроводности вакуумной теплоизоляционной панели использовался эффективный коэффициент теплопроводности, рассчитанный по результатам численного исследования модели вакуумной теплоизоляционной панели по методу МКЭ, представленным в [2]. Остальные параметры взяты из [10].

Таблица 1 – Характеристики слоев стенки кузова пассажирского вагона вакуумными теплоизоляционными панелями

Наименование слоя	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.
Наружная стальная стенка:		
- пол	2	46,4
- крыша	1,5	
- боковые стены	2	
- торцевые стены	1,5	
Вспененный теплоизоляционный материал	10	0,032
Вакуумная теплоизоляционная панель	40	0,0168
Звукоизоляционный материал	10	0,046
Внутренняя декоративная стенка	2	0,174

В таблице 2 представлены величины толщины и коэффициентов теплопроводности слоев оконного остекления по данным [10].

Таблица 2 – Характеристики слоев оконного остекления пассажирского вагона

Наименование слоя	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.
Суммарная толщина стекол	0,01	0,754
Воздушная прослойка	0,02	0,0232

Температура окружающей среды T_n , присутствующая в формуле (1), моделировалась как случайная величина методом Монте-Карло, ее статистические характеристики находились из архива погоды [11] по определенному населенному пункту (г. Самара) за последние 10 лет.

Данные с 01.01.2012 по 31.12.2021 структурировались в электронной таблице Excel по месяцам, таким образом, чтобы в одном столбце содержались данные одного месяца за все годы. С помощью статистических функций Excel определялись математическое ожидание Mt и среднеквадратическое отклонение σt температуры наружного воздуха за каждый месяц. В программе MathCAD для этих значений по методу наименьших квадратов были подобраны регрессионные зависимости:

$$\begin{aligned}
 Mt(x) &= 6 + 10.4 \cdot \left[\sin\left(\frac{x}{2} + 1.65 \cdot \pi\right) - 1.2 \cdot \cos\left(\frac{x}{2} + 1.65 \cdot \pi\right) \right] \\
 \sigma t(x) &= 4.9 + 1.1 \cdot \left[\sin\left(\frac{x}{2} + 2.6 \cdot \pi\right) - 1.2 \cdot \cos\left(\frac{x}{2} + 2.6 \cdot \pi\right) \right]
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где x – время, измеряемое в месяцах, $x \in [0, 12]$.

С помощью статистической функции программы MathCAD величина температуры наружного воздуха $T_n(i)$ моделировалась по нормальному закону на каждый день календарного года при использовании статистических характеристик $Mt(x)$ и $\sigma t(x)$, где время x вычислялось по номеру дня i как $x=i/30$.

Потребная электрическая энергия, затрачиваемая для компенсации теплопритоков с помощью кондиционирования летом и для компенсации тепловых потерь с помощью отопления зимой в течение календарного года при условии бюджета времени работы пассажирского вагона 100%, определялась по формуле:

$$E = \frac{24}{\varepsilon} \cdot \sum_{i=90}^{250} K_{np} F T_n(x) - T_e + \frac{24}{\eta} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{89} K_{np} F T_e - T_n(x) + \sum_{i=251}^{365} K_{np} F T_e - T_n(x) \right\}
 \tag{6}$$

где ε – холодильный коэффициент парокомпрессионной холодильной машины (принят $\varepsilon=2$); i – номер дня в году; $x=i/30$ – время в месяцах; η – КПД преобразования электрической энергии в тепловую ($\eta=0,95$).

Если сравниваются между собой два теплоизоляционных материала для использования в конструкции ограждения кузова пассажирского вагона (базовый и новый), то годовой экономический эффект от использования материала с большей величиной теплового сопротивления определяется по формуле:

$$E_{f1} = C_E \cdot E_{\text{база}} - E_{\text{нов}}
 \tag{7}$$

где C_E – тариф на электроэнергию, используемую на пассажирском вагоне в зависимости от применяемой системы энергоснабжения, руб/кВт·ч; $E_{\text{база}}$, $E_{\text{нов}}$ – годовые затраты электрической энергии на пассажирском вагоне для компенсации теплопритоков и тепловых потерь при использовании базового и нового теплоизоляционного материала, кВт.

При использовании нового теплоизоляционного материала в конструкции ограждения кузова пассажирского вагона возникают дополнительные расходы единовременного характера (стоимость материала), ежегодные расходы на ремонт теплоизоляции (принимаются, как стоимость материала, деленная на срок службы вагона) и затраты на утилизацию. Все эти затраты пропорциональны массе теплоизоляционного материала. При уменьшении массы или стоимости нового теплоизоляционного материала образуется экономический эффект:

$$E_{f2} = C_{M_{\text{база}}} \cdot M_{\text{база}} - C_{M_{\text{нов}}} \cdot M_{\text{нов}} + Z_{P_{\text{база}}} - Z_{P_{\text{нов}}} + Z_{Ут_{\text{база}}} - Z_{Ут_{\text{нов}}}
 \tag{8}$$

где $C_{M_{\text{база}}}$, $C_{M_{\text{нов}}}$ – стоимость единицы массы теплоизоляции базового и нового теплоизоляционного материала, руб/кг; $M_{\text{база}}$, $M_{\text{нов}}$ – масса теплоизоляции базового и нового варианта, кг; $Z_{P_{\text{база}}}$, $Z_{P_{\text{нов}}}$ – затраты на ремонт теплоизоляции базового и нового варианта, руб.; $Z_{Ут_{\text{база}}}$, $Z_{Ут_{\text{нов}}}$ – затраты на утилизацию теплоизоляции базового и нового варианта, руб.

Для сравнения различных вариантов новой теплоизоляции между собой и нахождения оптимальной толщины каждого варианта можно использовать следующий обобщенный критерий, являющийся комбинацией двух критериев оптимизации: минимальная масса и максимальное удельное тепловое сопротивление. Эти два критерия сводились к одному коэффициенту эффективности по следующей формуле:

$$keff_i = \lambda_1 \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{base}}}{R_i}\right) + \lambda_2 \cdot \left(1 - \frac{M_i}{M_{\text{base}}}\right)
 \tag{9}$$

где i – порядковый номер варианта профиля сотовой конструкции; λ_1 и λ_2 – коэффициенты весомости; R_j , R_{base} – удельное тепловое сопротивление новой и базовой конструкции кузова, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт; M_i , M_{base} – масса новой и базовой конструкции кузова, кг.

Коэффициенты весомости λ_1 и λ_2 , присутствующие в формуле (9) определялись из выражений:

$$\lambda_1 = \frac{E_{f1}}{E_{f1} + E_{f2}}, \quad \lambda_2 = \frac{E_{f2}}{E_{f1} + E_{f2}}
 \tag{10}$$

где E_{f1} – экономический эффект от повышения удельного теплового сопротивления на 50%, руб.; E_{f2} – экономический эффект от снижения массы теплоизоляции на 50%, руб.

Основными показателями оценки экономической эффективности инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте выступают чистый дисконтированный доход (ЧДД) и срок окупаемости инвестиций [12].

Величина ЧДД при постоянной норме дисконта определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{\tau=0}^T P_{\tau} - Z_{\tau} \cdot \frac{1}{(1+E)^{\tau}} - \frac{K}{1+E} \quad (11)$$

где P_{τ} – результаты, достигаемые на τ -ом шаге расчета (доходы); Z_{τ} – затраты (текущие издержки), осуществляемые на том же шаге; T – горизонт расчета; E – норма дисконта; K – долгосрочные инвестиции на нулевом шаге (капитальные затраты).

Экономические результаты от использования новой теплоизоляции на одном пассажирском вагоне в течение одного года предлагается вычислять по формуле:

$$P_{\text{г ваг}} = E_{f1} \cdot \tau_{\text{бюдж}} \cdot \frac{R_{\text{opt}} - R_{\text{base}}}{R_{\text{opt}}} \cdot \frac{100\%}{50\%} + E_{f2} \cdot \frac{M_{\text{base}} - M_{\text{opt}}}{M_{\text{opt}}} \cdot \frac{100\%}{50\%} \quad (12)$$

где E_{f1} , E_{f2} – экономические эффекты от изменения на 50% параметров новой теплоизоляции, руб.; $\tau_{\text{бюдж}}$ – годовой бюджет времени работы пассажирского вагона; R_{opt} , M_{opt} – оптимальные значения удельного теплового сопротивления и массы теплоизоляции нового типа, (м² К)/Вт.

Годовой экономический эффект от эксплуатации партии пассажирских вагонов N , которую можно оснастить новой теплоизоляцией за год работы единицы оборудования по производству новой теплоизоляции, равен

$$P_{\tau} = P_{\text{г ваг}} \cdot N \quad (13)$$

Годовые эксплуатационные затраты от использования новой теплоизоляции Z_{τ} при сроке службы вагона 40 лет предлагается определять, как стоимость материала, деленную на срок службы вагона

$$Z_{\tau} = \frac{Z_{\text{Р нов}}}{40} = \frac{C_{\text{М нов}} \cdot M_{\text{нов}}}{40} \quad (14)$$

Долгосрочные инвестиции на нулевом шаге инвестиционного проекта внедрения новой теплоизоляции K складываются из стоимости оборудования для изготовления новой теплоизоляции, стоимости материала новой теплоизоляции, количество которого определяется из условия полной загрузки оборудования в течение года, затрат на электроэнергию и оплату труда персонала. Методика расчета долгосрочных инвестиций в производство вакуумной теплоизоляции двумя различными способами (экструзией и 3-D печатью) подробно описана в работе [13].

Основные результаты

Использование коэффициента эффективности, рассчитываемого по формуле (9), позволило определить оптимальный профиль вакуумной теплоизоляционной панели со следующими характеристиками: условная плотность 221 кг/м³ и удельное тепловое сопротивление $R_{\text{opt}} = 2,445$ (м²·К)/Вт. У существующей теплоизоляции плотность 20 кг/м³, а удельное тепловое сопротивление $R_{\text{base}} = 1,63$ (м²·К)/Вт.

Влияние удельного теплового сопротивления на стоимость электрической энергии E_{f1} оценивалось путем увеличения R_{base} на 50%, затраты в ценах 2021 г. при централизованной схеме электроснабжения уменьшались на 36,83 тыс. руб. в год, а при смешанной схеме электроснабжения от оси колесной пары и от подвагонной высоковольтной магистрали с локомотива затраты уменьшались на 66,02 тыс. руб. в год.

Сравнительный расчет стоимости всех этапов жизненного цикла существующей теплоизоляции и новой теплоизоляции, включающей вакуумные теплоизоляционные панели, позволил определить экономию E_{f2} от снижения массы теплоизоляции на 50%. Для существующей теплоизоляции экономия составила 69,27 тыс. руб., а для новой теплоизоляции – 147,13 тыс. руб. за весь срок службы.

По методике (1) – (14) расчета экономической эффективности инвестиционного проекта по оснащению пассажирского вагона инновационной теплоизоляцией были рассчитаны два инвестиционных проекта. По первому проекту предлагается производить вакуумные теплоизоляционные панели, входящие составной частью в ограждение кузова пассажирского вагона – см. рисунок 1, с помощью метода экструзии [13], а по второму – с помощью 3-D принтинга [14]. За базовый вариант для сравнения в обоих инвестиционных проектах принималась существующая теплоизоляция пассажирского вагона модели 61-4440. Все расчеты делались в ценах 2021 года, средняя норма дисконта принималась 0,1.

Согласно расчетам по формулам (7), (8), (12), годовой экономический эффект от использования вакуумной теплоизоляции на одном пассажирском вагоне $P_{\text{г ваг}}$ составляет 45,68 тыс. руб. при смешанной схеме электроснабжения: от оси колесной пары и от подвагонной высоковольтной магистрали с локомотива.

Для первого инвестиционного проекта затраты на оборудование (экструдер) составили 17 750 тыс. руб., затраты на изготовление вакуумной теплоизоляции для партии из $N = 200$ вагонов составили 38 441 тыс. руб. с учетом затрат на материал полиамид марки ПА-6 в размере 37 401 тыс. руб. Таким образом, для первого инвестиционного проекта $K = 56 191$ тыс. руб. Эксплуатационные затраты, рассчитанные по формуле (14), составили $Z_{\tau} = 935$ тыс. руб. Годовой

экономический эффект от эксплуатации партии пассажирских вагонов $N = 200$ с вакуумной теплоизоляцией, рассчитанный по формуле (13), составил $P_{\tau} = 9\,136$ тыс. руб.

Для второго инвестиционного проекта затраты на оборудование (3-D принтеры в количестве 7 штук) составили 183 510 тыс. руб., затраты на изготовление вакуумной теплоизоляции для партии из $N = 196$ вагонов составили 38 005 тыс. руб. с учетом затрат на материал полиамид марки ПА-6 в размере 36 653 тыс. руб. Инвестиционные затраты для второго проекта составили $K = 221\,515$ тыс. руб. Эксплуатационные затраты составили $Z_{\tau} = 916$ тыс. руб. Годовой экономический эффект от эксплуатации партии пассажирских вагонов $N = 196$ с вакуумной теплоизоляцией составил $P_{\tau} = 8\,953$ тыс. руб.

На рисунке 2 представлены результаты расчета чистого дисконтированного дохода нарастающим итогом за 20 лет эксплуатации пассажирских вагонов, изготовленных с вакуумной теплоизоляцией.

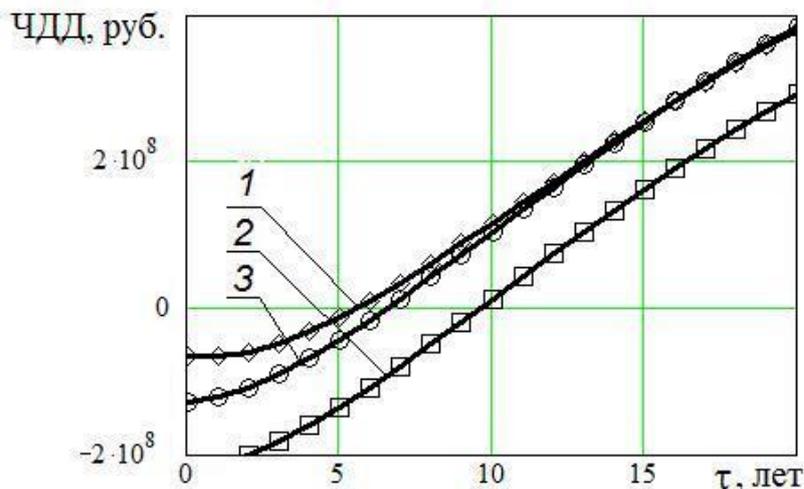


Рис. 2 – Чистый дисконтированный доход нарастающим итогом:

1 – первый инвестиционный проект; 2 – второй инвестиционный проект; 3 – второй инвестиционный проект с уменьшенными на 50% затратами на оборудование

Так как рынок 3-D принтеров стремительно растет, то можно ожидать снижения их стоимости, поэтому для второго инвестиционного проекта было выполнено два варианта расчета: при существующей цене на 3-D принтеры и при цене, уменьшенной на 50% (2 и 3 кривые на рисунке 2).

Обсуждение

Как видно на рисунке 2, первый инвестиционный проект (кривая 1) окупится на 6 год работы оборудования, второй инвестиционный проект окупится на 10 год при существующей цене на 3-D принтеры (кривая 3) и на 7 год работы оборудования при его цене, уменьшенной на 50% (кривая 2). При цене на 3-D принтеры, уменьшенной на 50%, чистый дисконтированный доход после 13 лет функционирования первого и второго инвестиционных проектов изменяется с течением времени у них практически одинаково.

Заключение

Для решения задачи оценки затрат на производство нового типа теплоизоляции и экономического эффекта от улучшения эксплуатационных характеристик пассажирского вагона с кузовом, содержащим новый тип теплоизоляции была разработана методика оценки привлекательности проекта внедрения вакуумной теплоизоляции в ограждении кузова пассажирского вагона, учитывающая вероятностный характер изменения температуры атмосферного воздуха.

Для нахождения оптимального варианта новой теплоизоляции был предложен обобщенный критерий, являющийся комбинацией двух критериев оптимизации: минимальная масса теплоизоляции и максимальное удельное тепловое сопротивление. С помощью данного критерия удалось определить оптимальную геометрию вакуумной теплоизоляционной панели с величиной удельного теплового сопротивления $R_{opt} = 2,445$ (м²·К)/Вт, что в 1,5 раза больше, чем у существующей теплоизоляции.

Согласно расчетам, годовой экономический эффект от использования вакуумной теплоизоляции на одном пассажирском вагоне $P_{г\,ваг}$ составляет 45,68 тыс. руб. при смешанной схеме электроснабжения от оси колесной пары и от подвагонной высоковольтной магистрали с локомотива.

Представлены два варианта инвестиционного проекта оснащения пассажирских вагонов вакуумной теплоизоляцией. В первом варианте изготовление вакуумных панелей предложено выполнять с помощью экструдера, во втором варианте – с помощью 3-D принтера. Срок окупаемости первого варианта, согласно расчетам, составил 6 лет, а второго варианта – 10 лет. Однако, при изменении цен на 3-D принтеры в будущем второй вариант может быть более предпочтительным, для этого достаточно снижения стоимости оборудования на 50%.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Balalaeв A. Mass and heat-insulation properties of the bodies of passenger and insulated railway cars made of vacuum honeycomb panels / A. Balalaeв, M. Parenjuk, I. Arslanov et al. // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – vol. 16, br. 1. – pp. 50-59. DOI: 10.5937/jaes16-13888.
2. Балалаев А. Н. Исследование модели вакуумной теплоизоляции пассажирского вагона / А. Н. Балалаев, М. А. Паренюк, Г. М. Сергеев, и др. // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 2. – С. 13-20.
3. Балалаев А. Н. Теоретические и экспериментальные исследования вакуумной панели ячеистой структуры / А. Н. Балалаев, Д. М. Тимкин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 8-1 (110). – С. 39-47. DOI: 10.23670/IRJ.2021.110.8.006.
4. Тимкин Д. М. Повышение эксплуатационных характеристик пассажирского вагона за счет использования в конструкции кузова вакуумных теплоизоляционных панелей / Д. М. Тимкин // Подвижной состав: современные тенденции и перспективы развития транспортной отрасли : Материалы научного марафона, посвященного 30-летию со дня основания факультета «Подвижной состав и путевые машины», Самара, 19–22 февраля 2019 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 47-51.
5. Балалаев А. Н. Влияние толщины вакуумной теплоизоляции стенок пассажирского вагона на его технико-экономические параметры / А. Н. Балалаев, М. А. Паренюк, Д. М. Тимкин // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 1. – С. 15-17.
6. Пигарев В. Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / В. Е. Пигарев, П. Е. Архипов; под ред. В. Е. Пигарева. – М.: Маршрут, 2003. – 424 с.
7. Фишбейн Б. Д. Железнодорожная климатология: монография / Фишбейн Б. Д., Балалаев А. Н., Бондаренко А. А. и др.; под ред. Б. Д. Фишбейна – Самара: СамГУПС, 2007. – 508 с.
8. Энергетика и технология хладотранспорта / Под ред. Л. Я. Левенталя. – М.: Транспорт, 1993. – 289 с.
9. Патент на полезную модель РФ № 182546, МПК E04B 2/02, E04B 1/80, E04C 1/40. Теплоизолирующая стенка / А. Н. Балалаев, М. А. Паренюк, Г. М. Сергеев, и др. Заявка № 2018104342 от 05.02.2018. Оpubл. 22.08.2018. Бюл. № 24.
10. Зворыкин М. Л. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах: Учебник для вузов железнодорожного транспорта. / Зворыкин М. Л., Черкез В. М. – М.: Транспорт, 1977. – 288 с.
11. Данные из архива погоды. Самара. // Погодные сервисы. – [Электронный ресурс] URL: http://pogoda-service.ru/archive_gsod_res.php?country=RS&station=289000&datepicker_beg=01.01.2012&datepicker_end=31.12.2021&submit=Посмотреть (дата обращения: 13.02.2022).
12. Методические рекомендации по расчету экономического эффекта внедрения научно-технических достижений и передового опыта на железных дорогах – филиалах ОАО «РЖД». – М.: ОАО «РЖД», 2005. – 22 с.
13. Тимкин Д. М. Анализ перспективных методов производства вакуумных теплоизоляционных панелей пассажирских вагонов / Д. М. Тимкин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 2-1(104). – С. 64-72. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.2.011.
14. Тимкин Д. М. Повышение эффективности вагоностроения за счет использования 3D-принтинга и вакуумных теплоизоляционных панелей / Д. М. Тимкин // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Т. 2. – С. 258-262.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Balalaeв A. Mass and heat-insulation properties of the bodies of passenger and insulated railway cars made of vacuum honeycomb panels / A. Balalaeв, M. Parenjuk, I. Arslanov, A. Ziyatdinov // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – vol. 16, br. 1. – p. 50-59. DOI: 10.5937/jaes16-13888.
2. Issledovanie modeli vacuumnoy teploizolyasii passagirskogo vagona [Study of vacuum heat-insulation of the passenger car] / A. N. Balalaeв, M. A. Parenjuk, G. M. Sergeev et al. // Vestnik transporta Povolgya [Bulletin of transport of the Volga region]. – 2018. – № 2. – P. 13–20. [in Russian]
3. Balalaeв A. N. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vakuumnoj paneli yacheistoj struktury [Theoretical and experimental studies of a vacuum panel of cellular structure] / A. N. Balalaeв, D. M. Timkin // International Research Journal. – 2021. – № 8-1 (110). – P. 39-47. DOI: 10.23670/IRJ.2021.110.8.006. [in Russian]
4. Timkin D. M. Povyshenie ekspluatacionnyh harakteristik passazhirskogo vagona za schet ispol'zovaniya v konstrukcii kuzova vakuumnyh teploizolyacionnyh panelej [Improving the operational characteristics of a passenger car by using vacuum thermal insulation panels in the body structure] / D. M. Timkin // Podvizhnoj sostav: sovremennye tendencii i perspektivy razvitiya transportnoj otrasli: Materialy nauchnogo marafona, posvyashchennogo 30-letiyu so dnya osnovaniya fakul'teta «Podvizhnoj sostav i putevye mashiny», Samara, 19–22 fevralya 2019 goda [Rolling stock: current trends and prospects for the development of the transport industry: Materials of the scientific marathon dedicated to the 30th anniversary of the foundation of the faculty "Rolling stock and track machines", Samara, February 19-22, 2019.]. – Samara: Samarskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya [Samara State Transport University], 2019. – P. 47-51. [in Russian]
5. Balalaeв A. N. Vliyanie tolshchiny vakuumnoj teploizolyacii stенок passazhirskogo vagona na ego tekhniko-ekonomicheskie parametry [The influence of the thickness of the vacuum insulation of the walls of a passenger car on its technical and economic parameters] / A. N. Balalaeв, M. A. Parenjuk, D. M. Timkin // Nauka i obrazovanie transportu [Science and education for transport]. – 2021. – № 1. – P. 15-17. [in Russian]
6. Pigarev V. E. Holodil'nye mashiny i ustanovki kondicionirovaniya vozduha: Uchebnik dlya tekhnikumov i kolledzhej zheleznodorozhnogo transporta [Refrigerating machines and air conditioning units: Textbook for technical schools and colleges of railway transport] / V. E. Pigarev, P. E. Arhipov; Edited by V. E. Pigarev. – М.: Marshrut [Moscow: Itinerary], 2003. – 424 p. [in Russian]

7. Fishbejn B. D. Zheleznodorozhnaya klimatologiya: monografiya [Railway Climatology: monograph] / B. D. Fishbejn, A. N. Balalaev, A. A. Bondarenko et al. ; edited by B. D. Fishbejn – Samara: SSTU, 2007. – 508 p. [in Russian]
8. Energetika i tekhnologiya hladotransporta [Energy and technology of cold transport] / edited by L. J. Leventhal. – M.: Transport, 1993. – 289 p. [in Russian]
9. Pat. 182546 Russian Federation, MPK7 E04B 2/02, E04B 1/80, E04C 1/40. Teploizoliruyushchaya stenka [Heat-insulating wall] / Balalaev A. N., Parenjuk M. A., Sergeev G. M., Timkin D. M.; the applicant and the patentee Samara State Transport University. – № 2018104342; appl. 02/05/18; publ. 08/22/18, Bul. Number 24. – 8 p. [in Russian]
10. Zvorykin M. L. Kondicionirovanie vozduha v passazhirskih vagonah: Uchebnyk dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta. [Air conditioning in passenger cars: Textbook for universities of railway transport] / M. L. Zvorykin, V. M. Cherkez. – M.: Transport, 1977. – 288 p. [in Russian]
11. Dannye iz arhiva pogody. Samara [Data from the weather archive. Samara]. // Pogodnye servisy [Weather services]. – [Electronic resource] URL: http://pogoda-service.ru/archive_gso_d_res.php?country=RS&station=289000&datepicker_beg=01.01.2012&datepicker_end=31.12.2021&submit=View (accessed: 02/13/2022). [in Russian]
12. Metodicheskie rekomendacii po raschetu ekonomicheskogo effekta vnedreniya nauchno-tekhnicheskikh dostizhenij i peredovogo opyta na zheleznyh dorogah – filialah OAO «RZHD» [Methodological recommendations for calculating the economic effect of the introduction of scientific and technical achievements and best practices on railways - branches of JSC "Russian Railways"]. – Moscow: JSC "Russian Railways", 2005. – 22 p. [in Russian]
13. Timkin D. M. Analiz perspektivnykh metodov proizvodstva vakuumnykh teploizolyacionnykh panelej passazhirskih vagonov [Analysis of promising methods of production of vacuum thermal insulation panels of passenger cars] / D. M. Timkin // International Research Journal. – 2021. – № 2-1(104). – P. 64-72. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.2.011. [in Russian]
14. Timkin D. M. Povyshenie effektivnosti vagonostroeniya za schet ispol'zovaniya 3D-printinga i vakuumnykh teploizolyacionnykh panelej [Improving the efficiency of car building through the use of 3D-printing and vacuum insulation panels] / D. M. Timkin // Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region]. – 2019. – V. 2. – P. 258-262. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.004>

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ДЛЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Беспалов В.И.¹, Самарская Н.С.^{2,*}, Астафуров Р.С.³

² ORCID: 0000-0003-2117-4221,

^{1,2,3} Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор(nat-samars[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье представлены наиболее перспективные направления развития систем альтернативного энергоснабжения и использования отходов для Ростовской области. По итогам 2020 года Ростовская область стала лидером по развитию систем альтернативного энергоснабжения и заинтересовала ведущие российские и международные компании. В результате проведенного системного анализа и полевых обследований авторами определены классификационные признаки и выделены перспективные для дальнейшего развития энергетики Ростовской области системы альтернативного энергоснабжения и использования отходов. Полученные данные обоснованы природным и техногенным потенциалом рассматриваемой территории.

Ключевые слова: альтернативное энергоснабжение, энергетическая безопасность, перспективные проекты, потенциал Ростовской области.

A CLASSIFICATION OF PROMISING ALTERNATIVE ENERGY SUPPLY AND WASTE MANAGEMENT SYSTEMS FOR ROSTOV OBLAST

Review article

Bespalov V.I.¹, Samarskaya N.S.^{2,*}, Astafurov R.S.³

² ORCID: 0000-0003-2117-4221,

^{1,2,3} Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author(nat-samars[at]yandex.ru)

Abstract

The article presents the most promising directions for the development of alternative energy supply systems and the use of waste for the Rostov region. By the end of 2020, Rostov Oblast has taken a leading position in the development of alternative energy supply systems and has attracted the interest of leading Russian and international companies. As a result of the system analysis and field surveys, the authors identified classification features and alternative energy supply and waste management systems that are promising for the further development of Rostov Oblast's energy sector. The data obtained are justified by the natural and man-made potential of the territory under study.

Keywords: alternative energy supply, energy security, promising projects, the potential of Rostov Oblast.

Введение

Ежегодное увеличение мирового энергопотребления привело к необходимости тщательного рассмотрения возможных альтернатив традиционным энергоресурсам [1]. По данным международного энергетического агентства, к 2030 году мировое энергопотребление достигнет 33,4 трлн кВт*ч. Обеспечение глобальных растущих запросов в энергии возможно лишь при условии широкого внедрения в энергетику систем альтернативного энергоснабжения и использования отходов. Несмотря на достаточно длительное использование таких систем многими странами, подобные проекты по-прежнему считают весьма инновационными [2], [3]. Ветряные, солнечные, приливные, геотермальные системы энергоснабжения разработаны многие десятилетия назад. Однако с каждым годом в основу проектных решений входят все более новые и совершенные технологические подходы [4], [5]. При этом доля электрической энергии в мировом масштабе, получаемой от альтернативных систем энергоснабжения по-прежнему составляет всего лишь около 3,5 % [6]. Поэтому активное вовлечение в энергетику инновационных проектов строительства систем альтернативного энергоснабжения и использования отходов позволит обеспечить энергетическую безопасность и одновременно повысить экономический потенциал стран.

Основные результаты

Любой регион страны обладает своим уникальным набором природных особенностей для строительства объектов альтернативного энергоснабжения и использования отходов. Рассмотрим такие возможности для юга европейской части России, как одного из регионов, обладающего значительным природным потенциалом для инновационной энергетики [7]. Так как юг европейской части России включает в себя горную и равнинные части, а также приморские территории, которые существенно отличаются климатическими и природными характеристиками, в рамках данной работы исследуем равнинную часть, занимаемую Ростовской областью. По итогам 2020 года Ростовская область является лидером по развитию систем альтернативного энергоснабжения [8]. Строительство ветроэнергетических и солнечных систем стало важнейшим инфраструктурным событием за последние десятилетия. Объекты альтернативного энергоснабжения Ростовской области представляют собой, по сути, инструмент снижения углеродного следа и заинтересовывают ведущие российские и международные компании.

Солнечная и ветровая энергетика являются лишь частью потенциальных энергетических возможностей Ростовской области. Проведенный системный анализ и полевые обследования рассматриваемой территории позволили выявить достаточное количество весьма перспективных энергоресурсов, относящихся к альтернативным. Для упорядочения

анализируемой информации нами введен такой классификационный признак как «характер используемого потенциала», который позволил разделить все перспективные системы альтернативного энергоснабжения на две группы:

- системы, использующие природный потенциал;
- системы, использующие техногенный потенциал.

Под альтернативными системами энергоснабжения и использования отходов подразумеваем комплекс устройств и сооружений, позволяющих получать требуемый вид энергии (чаще электрическую) и заменяющий собой традиционные системы получения энергии, функционирующие на нефти, газе и угле. Учитывая, что термин «техногенный» означает созданный человеком в результате производственно-хозяйственной деятельности и являющийся потенциально вредным и причиняющим ущерб социально-экономической и природной среде, отнесем к техногенному энергетическому потенциалу Ростовской области твердые коммунальные отходы. Твердые коммунальные отходы образуются в жилых помещениях и представляют собой бытовой мусор, содержащий пластик, бумагу, остатки деревянных изделий, резину, органические отходы, текстильные изделия, стеклянный лом и другие отходы жизнедеятельности [9]. Как показывает опыт европейских стран такого рода отходы весьма перспективно использовать в качестве источника получения энергии [10], [11].

В качестве систем, использующих природный потенциал, для получения энергии в Ростовской области считаем наиболее целесообразным рассматривать ветроэнергетические, гелиоэнергетические, низкопотенциальные и гибридные системы.

Все вышеперечисленные перспективные системы альтернативного энергоснабжения на втором уровне классификации можно разделить на группы по классификационному признаку «источник получения энергии». Источником получения энергии для природных и техногенных условий Ростовской области может быть энергия ветровая, солнечная, низкопотенциальная, энергия от биогаза и т.д. Также следует особо отметить петротермальные источники энергии, которые создают значительные предпосылки для того, чтобы считать этот источник весьма перспективным для южного региона. Данный факт связан, прежде всего, со сравнительной близостью прикавказских изломов земной коры.

При выборе источника получения энергии для системы следует учитывать, что Ростовская область обладает умеренно-континентальным климатом. Продолжительность солнечного сияния 2050-2150 часов в год, продолжительность периода с температурой выше 10 °С – 160-180 дней в году. Преобладающее направление ветра за период июнь-август северо-восточное, а за период декабрь-февраль восточное [12].

Каждый источник энергии обладает своими характеристиками, позволяющими осуществлять оценку потенциала. Если в качестве источника энергии рассматривать ветер, то под ветроэнергетическим потенциалом понимают, как правило, полную энергию ветрового потока рассматриваемой территории на определенной высоте над поверхностью земли. Энергию ветра характеризует скорость, которая в свою очередь является переменной величиной во времени и пространстве. Пример записи скорости ветра во времени показан на рис.1.



Рис. 1 – Пример записи скорости ветра во времени

Очевидно, что получение достоверных данных о средних скоростях ветра территории возможно при анализе измерений за достаточно большой промежуток времени.

Для оценки ветрового режима и ветроэнергетического потенциала Ростовской области нами использованы данные гидрометеорологической станции за период с 2010 по 2020 г. По статистическим данным метеостанций Ростовской области среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м составляет в среднем 2,8-3 м/с, а максимальная скорость ветра 25,2 м/с при преобладающей повторяемости восточного направления ветра как в теплый, так и в холодный периоды года.

Как известно, условия экономически оправданной эксплуатации ветроэнергетических систем предполагают среднегодовую скорость ветра: $Vc \geq 5,5$ м/с для всех видов ветроэнергетических систем; $4 \leq Vc < 5,5$ м/с – перспективны для систем малой и большой мощности; $3,5 \leq Vc < 4$ м/с – перспективны для систем малой мощности.

Исходя из этих условий, можно заключить, что для эффективного использования ветроэнергетических систем средней и большой мощности в Ростовской области следует располагать данные объекты на высотах более 30-100 м,

это обеспечит увеличение скорости ветра. Согласно проведенным расчетам, скорость ветрового потока на высоте более 30 м увеличивается в 1,7 раза, а скорость на высоте 100 м превышает 7 м/с. Поэтому, безусловно, проектирование ветроэнергетических систем для Ростовской области является перспективным.

Любая альтернативная система, использующая природный или техногенный потенциал для получения энергии, обладает своим набором конструктивных особенностей, позволяющих учитывать потребности энергопотребителей и особенности параметров энергоресурса. В связи с этим, на третьем уровне классификации нами введен классификационный признак «технология получения энергии».

Гелиоэнергетические системы, позволяющие преобразовать солнечную радиацию в тепловую или электрическую энергию, по третьему классификационному признаку можно разделить на тепловые и фотоэлектрические [13]. Причем для Ростовской области, на наш взгляд, перспективными являются как тепловые, так и фотоэлектрические гелиоэнергетические системы. Типичная тепловая гелиоэнергетическая система предполагает работу в режиме горячего водоснабжения и отопления. Фотоэлектрическая система, в свою очередь, преобразует солнечную энергию в электрическую благодаря солнечным панелям. Оба вида гелиоэнергетических систем требуют относительно небольшого набора условий, которые можно реализовать на территории Ростовской области. Так, для тепловой гелиоэнергетической системы важным является южная ориентация солнечных коллекторов, которые размещают чаще всего на кровле зданий и наличие дублера на случай длительного отсутствия солнечной радиации с 10% покрытием тепловой нагрузки здания. Для фотоэлектрической гелиоэнергетической системы важным условием эффективной работы является поступление солнечной энергии под прямым углом на фотоэлектрическую панель. Для Ростовской области пик интенсивности солнечного излучения приходится на июнь-июль. Однако в осенне-весенний период согласно данным метеостанций немало пасмурных и облачных дней. В эти дни выработка энергии фотоэлектрической системой будет снижена. Поэтому применение фотоэлектрических систем со ступенчатым расположением модулей и электронно-механической системой слежения за Солнцем будет весьма оправдано для территории Ростовской области.

Для автономного энергоснабжения с использованием солнечной энергии в Ростовской области, наиболее перспективными, по нашему мнению, являются гибридные солнечно-ветровые энергосистемы. В большинстве районов области приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе. Поэтому для бесперебойного обеспечения электроэнергией автономного потребителя во многих случаях целесообразно использование гибридной солнечно-ветровой энергосистемы.

Еще одним из наиболее динамично развивающихся направлений альтернативной энергетики считают использование низкопотенциального тепла земли. Значительная часть низкопотенциальных энергосистем успешно функционирует в Канаде, Австрии, Германии, Швеции. В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии для Ростовской области можно рассмотреть грунтовые воды, подводимые непосредственно к тепловым насосам. Такие системы называют открытыми низкопотенциальными энергосистемами [14]. Закрытые низкопотенциальные энергосистемы в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии используют тепло грунта. Тепловая энергия от грунта поступает через расположенные в нем теплообменники. Сезонные и суточные колебания температуры наружного воздуха, несомненно, вызывают изменения в нагреве верхних слоев грунта. Однако глубина такого влияния для почвенно-климатических условий Ростовской области не превышает, как правило, 15-20 м. Температурный режим слоев, расположенных ниже этой глубины, формируется под воздействием тепловой энергии из недр земли и практически не зависит от сезонных и суточных колебаний климатических параметров. Важным параметром при проектировании низкопотенциальных закрытых энергосистем будет являться величина потока радиогенного тепла, поступающего из земных недр. В среднем такая величина составляет 0,003-0,012 Вт/м².

На территории Ростовской области ежегодно образуется около 2 млн тонн твердых коммунальных отходов. Несмотря на внедренную в 2019 году новую систему обращения с отходами, согласно которой бытовой мусор теперь не только захоранивают, но и сортируют с целью дальнейшей переработки, рассматриваемые в работе варианты утилизации отходов являются, на наш взгляд, весьма перспективными. Энергетическая утилизация отходов происходит путем их сжигания или анаэробного брожения биомассы, в результате чего вырабатывается энергия, пригодная для использования в различных сферах. Поскольку значения теплотворной способности (удельная теплота сгорания) каждого вида отходов, рассматриваемых в качестве топлива, зависят от количества горючих компонентов и изменяются в достаточно широком диапазоне, можно предложить классифицировать отходы по группам (табл. 1) в соответствии со значениями теплотворной способности.

Таблица 1 – Энергетическая классификация групп твердых коммунальных отходов по величине их теплотворной способности

Группа ТКО	Диапазон значений теплотворной способности, МДж/кг	Примеры видов отходов
1	менее 5	Пищевые отходы растительного происхождения
2	5-10	Пищевые отходы животного происхождения
3	10-20	Бумага, текстиль, дерево
4	более 20	Кожа, резина, полиэтиленовая пленка, ПЭТФ- и ПВХ-бутылки

Учитывая вышесказанное на основе предлагаемых классификационных признаков разработана классификационная схема перспективных систем альтернативного энергоснабжения и использования отходов для Ростовской области (рис.2).

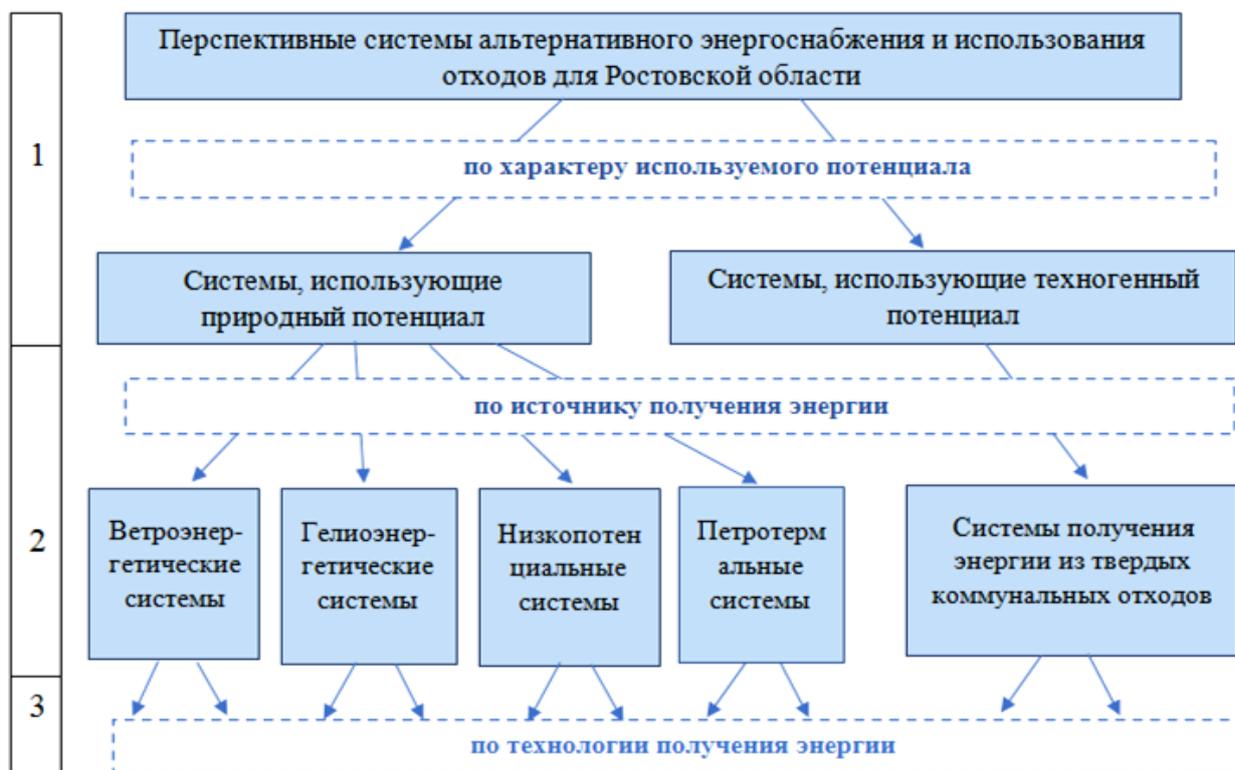


Рис. 2 – Классификационная схема перспективных систем альтернативного энергоснабжения и использования отходов для Ростовской области

Заключение

Анализируя вышесказанное, можно заключить, что Ростовская область обладает значительным природным и техногенным потенциалом, позволяющим проектировать и развивать перспективные системы альтернативного энергоснабжения и использования отходов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мастепанов А. М. Прогнозы развития мирового нефтегазового комплекса как отражение глобальных проблем и тенденций энергопотребления / А. М. Мастепанов // Нефтяное хозяйство. – 2018. – №. 5. – С. 6-11.
2. Масюков И. К. Альтернативные источники энергии как инновации в топливно-энергетическом комплексе / И. К. Масюков // Современные тенденции развития в области экономики и управления. – 2018. – С. 91-94.
3. Руди Д. Ю. Биоэнергетика как альтернатива традиционным источникам энергии / Д. Ю. Руди, Н. А. Халитов, Е. Е. Нурахмет и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 5 (47) Часть 3. – С. 162-163. – [Электронный ресурс]. URL: <https://research-journal.org/technical/bioenergetika-kak-alternativa-tradicionnym-istochnikam-energii/> (дата обращения: 08.01.2022.). DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.074
4. Немченко А. В. Особенности инновационного развития возобновляемых источников энергии на примере солнечных электростанций/ А. В. Немченко, Р. П. Короткий, Ю. И. Ханин и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 6 (108) Часть 1. – С. 129. 131. DOI: 10.23670/IRJ.2021.108.6.020
5. Варавва М. Ю. Инновации альтернативного ресурсозамещения / М. Ю. Варавва // Прогнозирование инновационного развития национальной экономики в рамках рационального природопользования. – 2020. – С. 64-70.
6. Суслов Н. И. Информационные и методические аспекты моделирования распространения возобновляемой энергетики с использованием ОМММ-ТЭК / Н. И. Суслов, В. Ф. Бузулуцков // Мир экономики и управления. – 2020. – Т. 20. – №. 2. – с. 24-49.
7. Природный потенциал ландшафтов Ростовской области / А. М. Иванченко, А. И. Коновалов, И. В. Бессмертный и др. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2019. – №. 4 (204). – С. 62-70.
8. Тарашенко П. В. Перспективы «Зеленой» энергетики в Ростовской области / П. В. Тарашенко, С. А. Шептиев // Наука и молодёжь. – 2021. – С. 135-139.
9. Польшгалов С. В. Исследование свойств крупных и мелких фракций твердых коммунальных отходов / С. В. Польшгалов, Г. В. Ильиных, Н. Станиславлевич // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25. – №. 6. – С. 26-31.

10. Yang Y. Gasification of refuse-derived fuel from municipal solid waste for energy production: a review / Y. Yang et al. // *Environmental Chemistry Letters*. – 2021. – pp. 1-14.
11. Gholizadeh H. Preventive maintenance for the flexible flowshop scheduling under uncertainty: a waste-to-energy system / Gholizadeh H. et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – pp. 1-20.
12. Иванов Е. С. Оценка ветрового подъема радионуклидов на территориях степных регионов в условиях умеренно континентального климата / Иванов Е. С. и др. // *Экологические проблемы. Взгляд в будущее*. – 2015. – С. 177-180.
13. Бойназаров Б. Б. Анализ систем производства солнечной энергии / Б. Б. Бойназаров, Ф. Н. Насретдинова // *Universum: технические науки*. – 2021. – №. 11-5 (92). – С. 28-33.
14. Васильев Г. П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах / Г. П. Васильев, Н. В. Шилкин // *АВОК*. – 2003. – №. 2. – С. 52.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mastepanov A. M. Prognozy razvitiya mirovogo neftegazovogo kompleksa kak otrazhenie global'nykh problem i tendentsij ehnergotrebleniya [Forecasts of the development of the global oil and gas complex as a reflection of global problems and trends in energy consumption] / A. M. Mastepanov // *Neftjanoe khozjajstvo [Oil industry]*. – 2018. – №. 5. – pp. 6-11 [in Russian]
2. Masyukov I. K. Al'ternativnye istochniki ehnergii kak innovacii v toplivno-ehnergeticheskom komplekse [Alternative energy sources as innovations in the fuel and energy complex] / I. K. Masyukov // *Sovremennye tendentsii razvitiya v oblasti ehkonomiki i upravleniya [Modern development trends in the field of economics and management]*. – 2018. – pp. 91-94 [in Russian]
3. Rudy D. Yu. Bioehnergetika kak al'ternativa tradicionnym istochnikam ehnergii [Bioenergy as an alternative to traditional energy sources] / D. Yu. Rudy, N. A. Khalitov, E. E. Nurakhmet et al. // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]*. – 2016. – № 5 (47) Part 3. – pp. 162-163. - [Electronic resource]. URL: <https://research-journal.org/technical/bioehnergetika-kak-al'ternativa-tradicionnym-istochnikom-ehnergii/> / (accessed: 08.01.2022). DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.074 [in Russian]
4. Nemchenko A. V. Osobennosti innovacionnogo razvitiya vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii na primere solnechnykh ehlektrostancij [Features of innovative development of renewable energy sources on the example of solar power plants] / A. V. Nemchenko, R. P. Korotkiy, Yu. I. Khanin et al. // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]*. – 2021. – № 6 (108) Part 1. - pp. 129-131. DOI: 10.23670/IRJ.2021.108.6.020 [in Russian]
5. Varavva M. Yu. [Innovations of alternative resource substitution] / M. Yu. Varavva // *Prognozirovanie innovacionnogo razvitiya nacional'noj ehkonomiki v ramkakh racional'nogo prirodopol'zovaniya [Forecasting of innovative development of the national economy within the framework of rational nature management]*. – 2020. – pp. 64-70 [in Russian]
6. Suslov N. I. Informacionnye i metodicheskie aspekty modelirovaniya rasprostraneniya vozobnovljaemoj ehnergetiki s ispol'zovaniem OMMM-TEhK [Informational and methodological aspects of modeling the spread of renewable energy using OMMM-TEK] / N. I. Suslov, V. F. Buzulutskov // *Mir ehkonomiki i upravleniya [The world of economics and management]*. – 2020. – Vol. 20. – No. 2 [in Russian]
7. Ivanchenko A. M. Prirodnyj potencial landshaftov Rostovskoj oblasti [Natural potential of landscapes of the Rostov region] / A. M. Ivanchenko et al. // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. [Bulletin of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences]*. – 2019. – №. 4 (204) [in Russian]
8. Tarashchenko P. V. Perspektivy «Zelenoj» ehnergetiki v Rostovskoj oblasti [Prospects of "Green" energy in the Rostov region] / P. V. Tarashchenko, S. A. Sheptiev // *Nauka i molodjozh' [Science and youth]*. - 2021. - pp. 135-139 [in Russian]
9. Polygalov S. V. Issledovanie svojstv krupnykh i melkikh frakcij tverdykh kommunal'nykh otkhodov [Investigation of properties of large and small fractions of municipal solid waste] / S. V. Polygalov, G. V. Ilyinykh // *Ehkologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]*. - 2021. - Vol. 25. - No. 6. - pp. 26-31 [in Russian]
10. Yang Y. Gasification of refuse-derived fuel from municipal solid waste for energy production: a review / Y. Yang et al. // *Environmental Chemistry Letters*. - 2021. - pp. 1-14 [in Russian]
11. Gholizadeh H. Preventive maintenance for the flexible flowshop scheduling under uncertainty: a waste-to-energy system / H. Gholizadeh et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – pp. 1-20 [in Russian]
12. Ivanov E. S, et al. Ocenka vetrovogo pod"ema radionuklidov na territorijakh stepnykh regionov v uslovijakh umerenno kontinental'nogo klimata [Assessment of the wind rise of radionuclides in the territories of steppe regions in a temperate continental climate] / E. S. Ivanov // *Ehkologicheskie problemy. Vzglyad v budushhee [Environmental problems. A look into the future]*. – 2015. – pp. 177-180 [in Russian]
13. Boynazarov B. B. Analiz sistem proizvodstva solnechnoj ehnergii [Analysis of solar energy production systems] / B. B. Boynazarov, F. N. Nasretdinova // *Universum: technical sciences*. – 2021. – №. 11-5 (92). – Pp. 28-33 [in Russian]
14. Vasilyev G. P. [The use of low-potential thermal energy of the earth in heat pump systems] / G. P. Vasilyev, N. V. Shilkin // *АВОК*. – 2003. – No. 2. – p. 52 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.005>

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ТОВАРОВЕДНАЯ ОЦЕНКА МАЙОНЕЗНЫХ СОУСОВ

Научная статья

Богданов Н.Л.*

ORCID: 0000-0002-2185-0229,

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

* Корреспондирующий автор (kolj1974[at]mail.ru)

Аннотация

Получение обогащенных пищевых продуктов для здорового питания связано с введением в состав традиционных продуктов ценных пищевых компонентов, позволяющих повышать их пищевую ценность. На сегодняшний день в Российской Федерации динамично развивается производство эмульсионных продуктов питания, в частности майонезных соусов. Майонезные соусы характеризуются пониженной калорийностью, за счет снижения количества растительного масла, при этом в их состав вводят различные вкусовые ингредиенты для расширения ассортимента и придания специфических органолептических свойств. В данной статье предложена технология производства майонезных соусов, обогащенных белком, жировая составляющая которых представлена липидной биоактивной композицией, имеющей сбалансированный жирнокислотный состав. Для полученных по разработанной технологии майонезных соусов установлены регламентируемые показатели химического состава и пищевой ценности, органолептические характеристики и требования безопасности. Установлено, что майонезные соусы содержат в своем составе 40,0-45,0 г жира, 5,8-6,2 г белка, 3,0-3,3 г минеральных веществ, 11,0-18,8 г углеводов, а также β -каротин до 1,3 мг, витамин Е до 27 мг, витамин С до 11,0 мг в 100 г продукта, в зависимости от наименования майонезного соуса. Майонезные соусы имеют привлекательный внешний вид, обладают выраженным вкусом и ароматом, приятным цветом, который соответствует используемому виду структурообразователя.

Ключевые слова: майонезный соус, коагулянт, коагулят, масло, полиненасыщенные жирные кислоты, рецептура.

ON THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND THE COMMODITY EVALUATION OF MAYONNAISE SAUCES

Research article

Bogdanov N.L.*

ORCID: 0000-0002-2185-0229,

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

* Corresponding author (kolj1974[at]mail.ru)

Abstract

Obtaining foods for a healthy diet is associated with the introduction of valuable food components into the composition of traditional products, allowing them to increase their nutritional value. Today, the production of emulsion food products in the Russian Federation, in particular mayonnaise sauces, is undergoing a rapid development. Mayonnaise sauces are characterized by a reduced caloric content due to a decrease in the amount of vegetable oil, at the same time there are various flavoring ingredients introduced into their composition to expand the assortment and impart specific organoleptic properties. This article proposes a technology for the production of mayonnaise sauces enriched with protein, the fat component of which is represented by a lipid bioactive composition with a balanced fat and acid composition. The study establishes regulated indicators of chemical composition and nutritional value as well as organoleptic characteristics and safety requirements for mayonnaise sauces obtained using the developed technology. The author determines that mayonnaise sauces contain 40.0-45.0 g of fat, 5.8-6.2 g of protein, 3.0-3.3 g of minerals, 11.0-18.8 g of carbohydrates, as well as beta-carotene up to 1.3 mg, vitamin E up to 27 mg, vitamin C up to 11.0 mg per 100 g of the product, depending on the type of the mayonnaise sauce. Mayonnaise sauces have an attractive appearance, a pronounced taste and aroma, and a pleasant color that corresponds to the type of structure-forming agent used.

Keywords: mayonnaise sauce, coagulant, coagulate, oil, polyunsaturated fatty acids, formulation.

Введение

В свете современных тенденций к увеличению продолжительности жизни и максимальному сохранению трудоспособного состояния, профилактика заболеваний, в том числе путем улучшения пищевого статуса населения является актуальной задачей. Для коррекции пищевого статуса используют функциональные и обогащенные пищевые продукты, как правило, популярные и пользующиеся покупательским спросом. Одним из таких продуктов являются майонезные соусы, которые считаются хорошим объектом для обогащения, а так как являются приправой к различным блюдам их можно широко использовать для повышения питательной ценности пищи [1], [2].

Включение в рацион питания майонезных соусов способствует получению с пищей оптимального количества жирных кислот, в том числе ненасыщенных, витаминов, прежде всего жирорастворимых, пищевых волокон, антиоксидантов и минеральных веществ, что в полной мере соответствует концепции здорового питания. При этом разработка новых технологий и рецептур соусов с пониженным содержанием жира будет способствовать снижению калорийности рациона потребителей и позволит приблизить майонезные соусы к продуктам здорового питания [3].

Майонезные соусы – это один из самых быстро развивающихся сегментов рынка соусов. Для них характерно наиболее динамичное развитие среди всех масложировых продуктов, что отражается на росте объемов производства и потребления. По производству майонеза и майонезных соусов Российская Федерация занимает второе место в мировом рейтинге производителей [4].

Майонезные соусы, представленные в розничной продаже разными производителями, имеют схожий состав и наименования. Так, компании «Петросоюз», «Махеев», ГК «НМЖК», «Юнилевер Русь», «Нэфис» и др. выпускают майонезные соусы: сливочно-чесночный, чесночный, сырный, «Цезарь», сметанный с грибами, грибной.

Вместе с тем, в продаже можно встретить не обычные по сочетанию ингредиентов соусы, такие как: майонезный соус «Бургер», «Сэндвич», с нежным лососем, морской коктейль, луковый (ТМ «Махеев»), соусы Remia – салатный медово-горчичный, салатный с грибами и травами, салатный йогуртовый, майонезный соус четыре перца, песто, карри (ТМ «Heinz»), хот-дог соус, сэндвич-соус ТМ «Astoria», итальянский сливочный, американский бургер ТМ «Calve»), песто, бургер (ТМ «Mr. Ricco»), майочуп, горчичный (ТМ «Балтимор»).

Также, в последнее время становятся популярными майонезные соусы функционального назначения, такие как, соусы без сахара – цезарь, карри (ТМ «Bombbar», Тольятти, Россия), без сахара низкокалорийные – чесночный, тартар, «Цезарь», «1000 островов», сырный (ТМ «Mr. Djemius Zero», ООО «Бодибург», Эстония).

Стоит отметить, что интерес к здоровому образу жизни, в том числе правильному, рациональному питанию, снижению калорийности пищи за счет понижения жирности продуктов, влечет за собой потребность в соусах с пониженной жирностью – майонезных соусах.

Использование в качестве основного ингредиента рецептуры соусов – соевого белкового компонента, позволяет получать продукты, основой которых является белок, а введение в состав в качестве структурообразователей кисломолочных продуктов, переработанного растительного сырья придаст готовым майонезным соусам дополнительные питательные и вкусовые свойства.

Повышению антиоксидантной активности, улучшению цвета и пролонгированию сроков годности майонезов и соусов может способствовать внесение в растительное масло натуральных пряностей – куркумы и имбиря.

В тоже время, использование новых подходов к структурообразованию в белковых системах позволяет разрабатывать новые рецептуры менее калорийных соусов для здорового питания, исключая из рецептуры химические консерванты, загустители, эмульгаторы, антиокислители, ароматизаторы и красители.

Цель исследований

Разработка рецептур и технологии майонезных соусов со сбалансированным жирнокислотным составом и обогащенных растительным белком.

Методы и принципы исследования

Объектами исследований являлись основные виды используемого сырья: семена сои (ТР ТС 015/2011 и ГОСТ 17109); кефир и сыворотка молочная производства ОАО «Молочный комбинат Благовещенский» (г. Благовещенск, Россия), соответствующий требованиям ГОСТ 31454 и ГОСТ 34352; томатная паста «Помидорка» производства ООО «Комплекс-Агро» (г. Майкоп, Россия, ГОСТ 3343); масла соевое и кукурузное рафинированное дезодорированное, соответствующие требованиям ГОСТ 31760 и ГОСТ 8808; разработанные майонезные соусы «Молочный», «Витаминный», «Томатный». Определение физико-химических свойств сырья и готовой продукции проводили в соответствии со стандартными методиками: определение массовой доли влаги, белка, жира, кислотности, перекисного числа, кислотного числа, стойкости эмульсии, эффективной вязкости в майонезных соусах по ГОСТ 31762; изучение жирнокислотного состава липидов с помощью метода ГЖХ (ГОСТ 30418); содержание витамина С по ГОСТ 24556; содержание витамина Е в соответствии с ГОСТ Р 54634; измерение содержания β-каротина при помощи метода высокоэффективной жидкостной хроматографии, описанного в ГОСТ EN 12823-2. Органолептическую оценку майонезных соусов проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 31761, дескриптно-профильную оценку в соответствии с характеристиками данной ассортиментной группы продуктов.

Основные результаты

Основным ингредиентом для приготовления белкового компонента рецептуры является соевая белковая основа, процесс приготовления которой заключается в замачивании соевых семян в воде для набухания и отделения от оболочки, дезинтеграции набухших соевых семян с одновременной экстракцией белковых веществ на аппарате для получения соевой белковой основы. Процесс экстракции производили при нагревании суспензии до температуры 90-100 °С в течение 15-20 минут. Получившуюся суспензию фильтровали для отделения от соевой белковой основы нерастворимого остатка – окары.

Для получения белковых коагулятов 3 видов в качестве коагулянтов использовали: кефир (для соуса «Молочный»), молочную сыворотку в смеси с аскорбиновой кислотой (для соуса «Витаминный») и раствор томатной пасты в воде (для соуса «Томатный»). В результате проведенных исследований процесса коагуляции белковых веществ и математической обработки установили, что на качество и выход белкового коагулята основное влияние оказывают такие факторы как массовая доля вносимого коагулята (должна быть в пределах 30-37 %), температура коагуляции не выше 72-76 °С, продолжительность коагуляции 3-5 мин.

Полученные белковые коагуляты характеризуются высокими органолептическими показателями, имеют характерный для коагулянтов вкус, цвет и аромат. Химический состав полученных коагулятов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и энергетическая ценность полученных коагулятов ($\bar{x} \pm m$; $m \leq 0,05$)

Продукт	Содержание, %						Энергетическая ценность, ккал/100г
	воды	белков	липидов	углеводов	минеральных веществ	витамина С, мг/100г	
Соево-кефирный	51,0	19,0	6,4	18,4	5,2	-	207,2
Соево-сывороточный	50,5	9,0	5,0	30,0	5,5	75,0	201,0
Соево-томатный	50,3	8,5	4,8	31,4	5,0	-	202,8

Для получения липидного компонента майонезных соусов использовали соевое и кукурузное растительные масла, характеризующиеся достаточно высоким содержанием витамина Е (соевое – 11,4 мг/100 г, кукурузное – 9,3 мг/100 г) по сравнению с оливковым – 13 мг/100 г. В ходе проведенных исследований установлено, что смесь этих видов масел в соотношении соевое : кукурузное как 70% : 30% позволяет создать липидную композицию с оптимальным (рациональным, рекомендованным ФАО/ВОЗ) соотношением ПНЖК (линолевой к линоленовой) = $C_{18:2} : C_{18:3} = 7,5:1$, с содержанием витамина Е в количестве 10,8 мг/100 г.

В качестве источника β -каротина для обогащения липидной композиции выбрана морковь с содержанием витамина Е 0,6 мг; β -каротина 9,0 мг и витамина С 5,1 мг в 100 г. Кроме моркови, в качестве антиоксидантов предусматривали ввод в липидный комплекс порошка куркумы и имбиря в массовой доле 0,25 %. В соответствии с разработанной технологической схемой предварительно получают купаж растительных масел при соотношении соевое масло : кукурузное масло как 70 % : 30 % соответственно. В полученную смесь масел вносили измельченную морковь в количестве 33 % от массы масляной смеси, гомогенизировали морковь в масле и отделяли масло от морковного жома фильтрованием. В обогащенное морковью масло вносили по 0,25 % от массы масляной композиции измельченной куркумы и имбиря. Смесь снова гомогенизировали, получая липидный биоактивный комплекс [5], [6].

В результате принятых подходов получены соевые белковые коагуляты, а также липидный биоактивный комплекс, содержащий сбалансированную совокупность биоактивных ингредиентов, в синергизме обладающих антиоксидантной активностью. Для получения майонезных соусов использовали белковый, липидный компонент и вкусовые добавки, рецептура показана в таблице 2.

Таблица 2 – Рецептура майонезных соусов на 100 кг

Наименование ингредиентов	Количество, %		
	Молочный	Витаминный	Томатный
Белковый коагулят	56,2	56,2	56,0
Липидный биоактивный компонент	40,0	40,0	40,0
Соль	1,0	1,1	1,0
Сахар	1,5	1,4	1,7
Уксусная кислота 80 %-ная	0,55	0,56	0,5
Горчичный порошок	0,75	0,74	0,8
Итого	100,0	100,0	100,0

Технологический процесс приготовления новых видов майонезных соусов описан в технологической схеме на рисунке 1.

Исследования химического состава майонезных соусов, полученных по разработанной технологии (таблица 3) позволяет сделать выводы, что разработанные продукты питания имеют высокую пищевую ценность, так как содержат в своём составе от 5,1 до 11,4 г белка, β -каротин в пределах 1,3 мг, витамин Е от 7,28 до 7,48 мг, витамин С 7,6 мг в 100 г продукта. Вместе с тем содержание жира в майонезных соусах от 43,16 до 44,54 г в 100 г, позволяет считать их низкокалорийными. Исследованиями состава жиров майонезных соусов установлено, что соус «Молочный» имеет соотношение $C_{18:2} : C_{18:3}$ как 7,5:1,0, соус «Витаминный» 7,64:1,0, соус «Томатный» 7,84:1,0, что соответствует рекомендациям ФАО/ВОЗ.

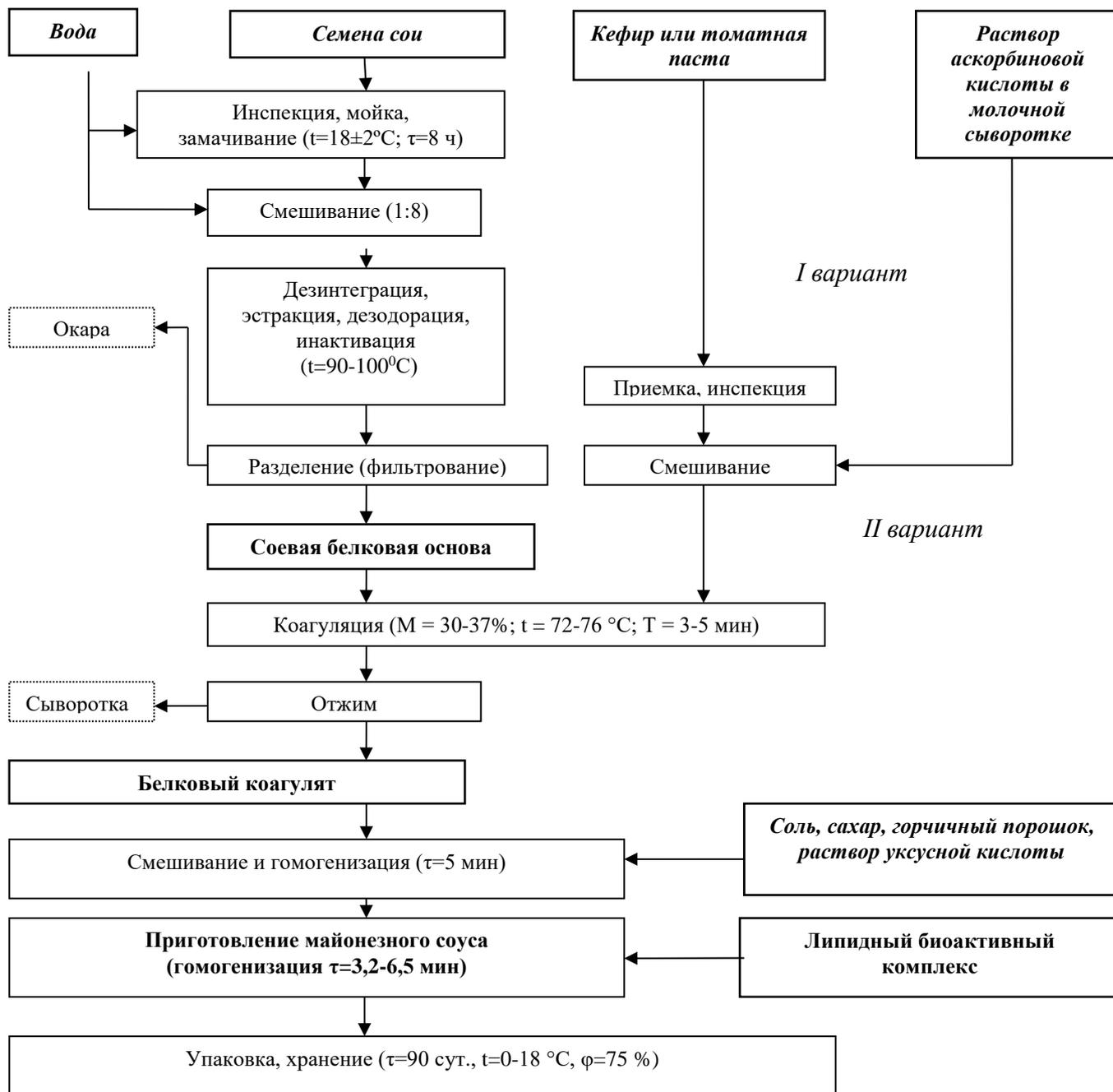


Рис. 1 – Технологическая схема приготовления майонезных соусов

Таблица 3 – Химический состав и энергетическая ценность майонезных соусов ($\bar{x} \pm m$; $m \leq 0,05$)

Продукт	Основные вещества, г / 100 г					Витамины, мг /100 г			Энергетическая ценность, ккал / 100 г
	вода	белки	жиры	углевод ы	зола	β-каро- тин	Е	С	
Майонезный соус «Молочный»	30,0	11,4	44,54	11,04	3,0	1,3	7,48	-	490,62
Майонезный соус «Витаминный»	30,0	5,4	43,30	18,0	3,3	1,29	7,31	7,6	483,30
Майонезный соус «Томатный»	30,0	5,1	43,16	18,84	3,0	1,28	7,28	-	484,20

Качество майонезных соусов полученных по разработанной технологии в соответствии с рецептурами: «Молочный», «Витаминный», «Томатный», оценивали по совокупности показателей: органолептическим, физико-химическим, показателям пищевой и энергетической ценности, показателям безопасности в соответствии с требованиями ТР ТС 021 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 024 «Технический регламент на масложировую продукцию».

Органолептические свойства разработанных продуктов исследовали по основным показателям: оценивали внешний вид и консистенцию, цвет, вкус и запах по разработанной 5-ти балльной шкале и профилям.

В результате проведенной оценки установлено, что разработанные майонезные соусы имеют привлекательный внешний вид, обладают выраженным вкусом и ароматом, насыщенным цветом, который соответствует используемому виду структурообразователя. Запах всех наименований майонезных соусов характеризовался как приятный, с кислинкой, а цвет свойственный типу вводимого коагулянта, консистенция – однородная, в меру текучая, стабильная.

Дегустационную оценку органолептических показателей проводили 5 дегустаторов. Суммарная балльная оценка разработанных майонезных соусов находилась в пределах 22,3-23,6 баллов из 25 возможных. Результаты органолептической оценки разработанных продуктов свидетельствуют о высоком уровне их качества.

В ходе проведенных исследований физико-химические показатели определяли массовые доли жира и белка: для соуса «Молочного» – 45,3 и 6,2 % соответственно, для соуса «Витаминного» – 42,5 и 6,0 % соответственно, для соуса «Томатного» – 40,6 и 5,8 % соответственно. Кислотность в пересчете на уксусную кислоту – в пределах 0,8-0,9 %, стойкость эмульсии составила 97,5-99,5 % не разрушенной эмульсии. Полученные результаты соответствовали требованиям, указанным в ГОСТ 31761-2012 «Майонезы и соусы майонезные» и СТО 9140-002-00668442-2010 «Соусы майонезные белковые».

Исследованиями установлено, что содержание токсичных элементов, пестицидов, радионуклидов, перекисного числа, микробиологические показатели безопасности разработанных майонезных соусов находятся в пределах и не превышает нормативные значения, установленные ТР ТС 021 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 024 «Технический регламент на масложировую продукцию».

Заключение

В ходе проведенных исследований разработана технология производства майонезных соусов, обогащенных растительным белком в количестве 5,1-11,4 г на 100 г продукта, при этом содержание жира в них снижено до 44,5 %, а жир имеет сбалансированный состав полиненасыщенных жирных кислот (оптимальное соотношение линолевой и линоленовой кислот 7,5-7,8 : 1,0). Получаемые по разработанной технологии майонезные соусы обогащены физиологически ценными компонентами: витамином Е (7,28-7,48 мг на 100 г), β-каротином (1,3 мг на 100 г), а майонезный соус «Витаминный» содержит витамин С (7,6 мг на 100 г). Майонезные соусы, приготовленные по разработанным рецептурам и технологии, характеризуются высокими показателями качества и соответствуют требованиям действующей нормативно-технической документации по физико-химическим, микробиологическим показателям и показателям безопасности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Сергиенко И. В. Инновационно-технологические решения в создании функциональных продуктов питания / И. В. Сергиенко // Вестник ВГУИТ. – 2015. – №2. – С. 126-129
2. Скрипко О. В. Формирование консистенции майонезных соусов с использованием соевого сырья / О. В. Скрипко, С. М. Доценко, Н. Л. Богданов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 4. – С.66-70.
3. Нечаев А. П. Эмульсионные жировые продукты функционального назначения в современном питании [Майонезный соус с растительным сырьём] / А.П. Нечаев и др. // Пищевая промышленность. – 2018. – №5. – С. 26-29.
4. Анализ рынка майонеза в России в 2016-2020 гг. Business Stat. [Электронный ресурс]. URL: https://businessstat.ru/images/demo/mayonnaise_russia_demo_businessstat.pdf. (дата обращения 29.04.2021).
5. Пат. 2482707 Российская Федерация МПКА23L 1/30, А23L 1/212, С11В 1/10. Способ приготовления липидной биоактивной композиции / С. М. Доценко, О. В. Скрипко, Н. Л. Богданов и др.; заявитель и патентообладатель Всеросс. науч.-исслед. ин-т сои РАСХН. №2011135552; заявл. 25.08.2011; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 15. – 7 с.
6. Пат. 2456817 Российская Федерация МПК А23L 1/20, А23J 1/14. Способ приготовления белково-липидного продукта / С.М. Доценко, О.В. Скрипко, Н.Л. Богданов; заявитель и патентообладатель Всеросс. науч.-исслед. ин-т сои РАСХН. №2010134070; заявл. 13.08.2010; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21. – 5 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sergienko I. V. Innovatsionno-tekhnologicheskiye resheniya v sozdanii funktsional'nykh produktov pitaniya [Innovative and technological solutions in the creation of functional food products] / I. V. Sergienko // Vestnik VGUIT [VSUIT Bulletin]. – 2015. – №2. – pp. 126-129. [in Russian]
2. Skripko O. V. Formirovaniye konsistentsii mayoneznykh sousov s ispol'zovaniyem soyevogo syr'ya [Formation of the consistency of mayonnaise sauces using soy raw materials] / O. V. Skripko, S. M. Dotsenko, N. L. Bogdanov // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. – 2015. – № 4. – pp.66-70. [in Russian]
3. Nechaev A.P. Emul'sionnyye zhirovyye produkty funktsional'nogo naznacheniya v sovremennom pitanii [Mayoneznyy sous s rastitel'nym syr'-yom] [Emulsion fatty products of functional purpose in modern nutrition [Mayonnaise sauce with vegetable raw materials]]/ A. P. Nechaev et al. // Pishchevaya promyshlennost' [Food industry]. – 2018. – №5. – pp. 26-29. [in Russian]

4. Analiz rynka mayoneza v Rossii v 2016-2020 gg [Analysis of the mayonnaise market in Russia in 2016-2020 business stat.]. Business Stat. [Electronic resource]. URL: https://businessstat.ru/images/demo/mayonnaise_russia_demo_businessstat.pdf (accessed: 29.04.2021) [in Russian]

5. Pat. 2482707 Russian Federation MPK A23L 1/30, A23L 1/212, C11B 1/10. Sposob prigotovleniya lipidnoy bioaktivnoy kompozitsii [Method for preparing a lipid bioactive composition] / S. M. Dotsenko, O. V. Skripko, N. L. Bogdanov, et al.; the applicant and the patent All-Russian Research Institute of Soybeans of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - No. 2011135552; appl. 08/25/2011; publ. 27.05.2013, Bull. Number 15. – 7. [in Russian]

6. Patent. 2456817 Russian Federation MPK A23L 1/20, A23J 1/14. Sposob prigotovleniya belkovo-lipidnogo produkta [Method for preparing a protein-lipid product] / S. M. Dotsenko, O. V. Skripko, N. L. Bogdanov; the applicant and the patent All-Russian Research Institute of Soybeans of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - No. 2010134070; appl. 08/13/2010; publ. 27.07.2012, Bull. Number 21. - 5. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.006>ОЦЕНИВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СКАЛЯРНОГО И ВЕКТОРНОГО ПАРАМЕТРОВ
СГЛАЖИВАЮЩЕГО БИКУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА

Научная статья

Воскобойников Ю.Е.¹, Боева В.А.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0002-5282-6002;² ORCID: 0000-0002-5668-3416;^{1,2} Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск Россия;¹ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск Россия

* Корреспондирующий автор (v.bojeva[at]sibstrin.ru)

Аннотация

При интерпретации экспериментальных данных часто в качестве первого этапа выступает задача фильтрации шумов (погрешностей) измерения данных эксперимента или, иначе, задача сглаживания экспериментальных данных. Если сглаживаемая зависимость является гладкой функцией одной переменной, то универсальным инструментом для решения такой задачи является одномерный сглаживающий кубический сплайн дефекта единица. Этот сплайн имеет на всем интервале своего определения непрерывные производные до второй включительно, что позволяет использовать сплайн (при соответствующем выборе параметра сглаживания) для устойчивого вычисления производных. Если сглаживаемая зависимость является функцией двух переменных, то необходимо уже строить двумерный сплайн, называемый сглаживающим бикубическим сплайном. При этом возникает проблема выбора параметров этого сплайна, более сложная чем выбор параметра одномерного сплайна и обусловленная как самим алгоритмом построения бикубического сплайна, так и двумя аргументами обрабатываемой двумерной зависимости, которая имеет, как правило, разную гладкость по этим аргументам. Для минимизации ошибки сглаживания бикубического сплайна в статье вводятся скалярный и векторный параметры сглаживания. Предлагаются алгоритмы оценивания оптимальных значений этих параметров, как при известной дисперсии шума измерений, так и в случаях, когда эта дисперсия неизвестна. Вычислительный алгоритм показал приемлемую точность построенных оценок для оптимальных параметров сглаживания.

Ключевые слова: сглаживающий бикубический сплайн, скалярный и векторный параметры сглаживания, выбор параметров при известной дисперсии шума измерений, выбор параметров при неизвестной дисперсии шума измерений.

AN ESTIMATION OF OPTIMAL SCALAR AND VECTOR PARAMETERS OF A SMOOTHING BICUBIC
SPLINE

Research article

Voskoboynikov Yu.E.¹, Boeva V.A.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0002-5282-6002;² ORCID: 0000-0002-5668-3416;^{1,2} Novosibirsk State University of Architecture and Construction, Novosibirsk, Russia;¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

* Corresponding author (v.bojeva[at]sibstrin.ru)

Abstract

When interpreting experimental data, the first stage is often the task of filtering noise (errors) of measuring experimental data, or, in other words, the task of smoothing such data. If the smoothed dependence is a smooth function of one variable, then a universal tool for solving such a problem is a one-dimensional smoothing cubic spline of defect 1. This spline has continuous derivatives up to and including the second one over the entire interval of its definition, which makes it possible to use the spline (with the appropriate choice of the smoothing parameter) for stable calculation of derivatives. If the smooth dependence is a function of two variables, then it is necessary to build a two-dimensional spline called a smoothing bicubic spline. At the same time, there's a problem of choosing the parameters of this spline, which is more complex than choosing the parameter of a one-dimensional spline and is caused both by the algorithm for constructing a bicubic spline itself and by two arguments of the two-dimensional dependence being processed, which, as a rule, has different smoothness for these arguments. To minimize the smoothing error of the bicubic spline, the article introduces scalar and vector smoothing parameters; the study also proposes algorithms for estimating the optimal values of these parameters both with a known variance of measurement noise and in cases where this variance is unknown. The computational algorithm shows acceptable accuracy of the constructed estimates for optimal smoothing parameters.

Keywords: smoothing bicubic spline, scalar and vector smoothing parameters, parameter selection with known measurement noise variance, parameter selection with unknown measurement noise variance.

Введение и задача исследования

При интерпретации экспериментальных данных часто в качестве первого этапа обработки выступает задача фильтрации шумов (погрешностей) измерений, или другими словами, задача сглаживания экспериментально полученных данных. Одним из аппаратов решения этих задач выступают сглаживающие сплайны [1], проходящие в некоторой близости от измеренных значений, осуществляя таким образом сглаживание зашумленных данных. В большинстве случаев используют сглаживающие кубические сплайны (СКС), имеющие первую и вторую непрерывные производные на всем интервале построения сплайна. Это свойство позволяет использовать СКС при решении различных научно-технических задач (в частности, в физических исследованиях [2], при идентификации динамических систем [3], где требуется устойчивое вычисление производной первого порядка). На практике, основной

проблемой при вычислении СКС является подбор параметра сглаживания сплайна, от величины которого зависит «гладкость» СКС и ошибка сглаживания. Выбор оптимального параметра сглаживания осуществляется алгоритмами, позволяющими построить приемлемые по точности оценки, как при известной дисперсии шума измерений [2], так и при неизвестной дисперсии [4].

Сглаживание результатов измерений двумерной функции является более сложной задачей. Сглаживающий сплайн строится как функция двух переменных, что существенно усложняет вычислительный алгоритм его построения. Из-за разной гладкости приближаемой функции по разным переменным также желательно выбрать различные значения параметра сглаживания. Если для построения двумерного сглаживающего сплайна (далее – сглаживающий бикубический сплайн (СБС)) можно адаптировать алгоритм построения интерполяционного бикубического сплайна [1], то задача выбора нескольких параметров согласно условию минимума ошибки сглаживания не нашла своего решения в соответствующих основополагающих публикациях (например, в [1], [5]). Заметим, что построение двумерных сглаживающих сплайнов с минимальной ошибкой сглаживания весьма актуально в решении задач идентификации нелинейных систем (особенно в энергетике), описываемых интегральными уравнениями первого рода с ядрами Вольтера [6], [8]. Цель данной работы – построение СБС с минимальной (при учёте априорной информации о шуме измерения) ошибкой сглаживания. Для этого в статье будет рассмотрено:

- введение скалярного и векторного параметров сглаживания для каждой переменной СБС;
- модификация и исследование алгоритмов оценивания оптимальных значений параметров сглаживания сплайна при известной дисперсии шума измерений;
- модификация и исследование алгоритмов оценивания оптимальных значений параметров сглаживания сплайна при отсутствии данных о дисперсии шума измерений.

Построение сглаживающего бикубического сплайна

Предположим, что значения двумерной функции $f(x, y)$ $x_i, i = 1 \dots N_x; y_j, j = 1 \dots N_y$, измерены в узлах прямоугольной сетки $x_i, y_j, i = 1 \dots N_x, j = 1 \dots N_y$. причём узлы x_i, y_j могут иметь не одинаковый и не равный шаг, что встречается в реальных экспериментах.

Для учета возможных погрешностей (шумов) измерений принимается следующая модель эмпирических значений $\tilde{f}(x_i, y_j)$:

$$\tilde{f}(x_i, y_j) = f(x_i, y_j) + \eta_{ij}, \quad i = 1 \dots N_x, \quad j = 1 \dots N_y \quad (1)$$

где η_{ij} – случайный шум измерения с нулевым средним и дисперсией σ_η^2 (равноточные измерения). По заданным значениям функции $\tilde{f}(x_i, y_j)$ требуется построить СБС $S_\alpha(x, y)$, который:

- в узлах сетки $x_i, y_j, i = 1 \dots N_x, j = 1 \dots N_y$, имеет меньшую ошибку по сравнению с исходными зашумленными значениями $\tilde{f}(x_i, y_j)$;
- позволяет оценивать значения функции $f(x, y)$ при значениях x, y , не совпадающие с узлами сетки x_i, y_j .

Алгоритм построения двумерного СБС как построение ансамбля (набора) одномерных СКС был изложен в работе [9]. Поэтому здесь кратко опишем основные шаги этого алгоритма, необходимые для понимания места и способов выбора параметра сглаживания.

Шаг 1. Формируется набор исходных данных $\forall j = 1 \dots N_y$ (фиксируется значение y_j):

$$x_i, \tilde{f}_i^j = \tilde{f}(x_i, y_j), \quad i = 1 \dots N_x \quad (2)$$

выбирается параметр сглаживания $\alpha 1^j$, и по (2) строится одномерный СКС $S_{N_x, \alpha 1^j}^j(x)$, допускающий на отрезках $x_i, x_{i+1}, i = 1 \dots N_x - 1$ представление:

$$S_{N_x, \alpha 1^j}^{(i)}(x) = a 1_i^{(i)} + b 1_i^{(i)}(x - x_i) + c 1_i^{(i)}(x - x_i)^2 + c 1_i^{(i)}(x - x_i)^3 \quad (3)$$

и имеющий непрерывную производную второго порядка по t на интервале $[t_1, t_{N_x}]$. По сплайну (3) вычисляются значения $\hat{f}_x(x_i, y_j) = S_{N_x, \alpha 1^j}^j(x)|_{x=x_i} = b 1_i^j$ (результат сглаживания по аргументу x – это отражает нижний индекс в записи $\hat{f}_x(x_i, y_j)$). Шаг 1 повторяется для $y_j, j = 1 \dots N_y$, и таким образом строится ансамбль (набор) из N_y одномерных СКС, каждому из которых необходимо задать параметр сглаживания $\alpha 1^j, j = 1 \dots N_y$.

Шаг 2. Формируется набор данных $\forall i = 1 \dots N_x$ (фиксируется значение x_i): $y_j, \tilde{f}2_j^i = \hat{f}_x(x_i, y_j), j = 1 \dots N_y$, выбирается параметр сглаживания $\alpha 2^i$, строится СКС $S2_{N_y, \alpha 2^i}^i(y)x_i, i = 1 \dots N_x$ и вычисляются значения $\hat{f}_{xy}(x_i, y_j) = S2_{N_y, \alpha 2^i}^i(y)|_{y=y_j} = b2_j^i$, где $b2_j^i$ – коэффициент сплайна $S2_{N_y, \alpha 2^i}^i(y)$ в представлении:

$$S2_{N_y, \alpha 2^i}^i(y) = a2_j^{(i)} + b2_j^{(i)}(y - y_j) + c2_j^{(i)}(y - y_j)^2 + c2_j^{(i)}(y - y_j)^3,$$

где $y_j \leq y < y_{j+1}$. Шаг 2 повторяется для y_j и таким образом строится ансамбль (набор) из N_x одномерных СКС, каждому из которых необходимо задать параметр сглаживания $\alpha 2^i, i = 1 \dots N_x$.

Возникает вопрос: зачем нужно сглаживание на шаге 2, когда на шаге 1 было выполнено сглаживание путем построения СКС $S1_{N_x, \alpha 1^j}^j(x)$? Ответ: на шаге 1 было выполнено сглаживание исходного шума измерения по переменной x при каждом фиксированном y_j . В силу некоррелированности значений шума η_{ij} между собой остаточный шум после сглаживания по x будет не коррелирован при разных значениях y_j . Поэтому можно предполагать, что сглаживание по переменной y при фиксированных x_i будет способствовать уменьшению уровня остаточной ошибки сглаживания.

Скалярный и векторные параметры сглаживания и их выбор

Введем для СБС два новых понятия: скалярный и векторный параметр сглаживания. Под скалярным параметром будем понимать параметр, величина которого одинакова для всех сплайнов данного ансамбля. Так, на шаге 1 скалярный параметр определяется как:

$$\alpha 1^j = \alpha 1, j = 1 \dots N_y.$$

Векторный параметр сглаживания – это вектор, каждая проекция которого задает свой параметр сглаживания соответствующему СКС из ансамбля сплайнов. Так, на шаге 2 векторный параметр $\overline{\alpha 2}$ имеет i -ую проекцию, равную

$$\overline{\alpha 2}_i = \alpha 2^i.$$

Возникает вопрос выбора скалярного или векторного параметра сглаживания при построении сплайна для эмпирических функций. При ответе на этот вопрос существенное значение играет наличие достоверной информации о дисперсии шума измерений σ_η^2 (см. (1)).

Первоначально предположим, что дисперсия σ_η^2 шума измерения известна с точностью 5-10%. Тогда для выбора скалярного параметра сглаживания можно использовать алгоритм, основанный на проверке статистической гипотезы об оптимальности параметра сглаживания и предложенный в работе [2]. Для проверки этой гипотезы (предположим, что это для шага 1) вводится критерий:

$$\rho_{WS}(\alpha 1) = \frac{1}{\sigma_\eta^2} \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{i=1}^{N_x} e_{N_x, \alpha 1}^{(j)}(x_i) \cdot \tilde{f}1_i^{(j)},$$

где $e_{N_x, \alpha 1}^j(x_i) = \tilde{f}1_i^j - S1_{N_x, \alpha 1}^j(x_i)$ – невязка i -ого измерения в j -ом сплайне $S1_{N_x, \alpha 1}^j(x)$ (см. (3)). В качестве скалярного параметра сглаживания $\alpha 1$ выбирается значение $\alpha 1_W$, которое вычисляется как:

$$v_{\frac{\beta}{2}, N} \leq \rho_{WS}(\alpha 1_W) \leq v_{1 - \frac{\beta}{2}, N} \tag{4}$$

где $v_{\frac{\beta}{2}, N}$ – квантили χ^2 -распределения с $N = N_x \cdot N_y$ степенями свободы уровней $\frac{\beta}{2}, 1 - \frac{\beta}{2}$; β определяет вероятность ошибки первого рода при проверке гипотезы об оптимальности (величина среднеквадратической ошибки (СКО) сглаживания) оценки $\alpha 1_W$. При $N > 30$ и $\beta = 0.05$ для вычисления $v_{\frac{\beta}{2}, N}, v_{1 - \frac{\beta}{2}, N}$ можно использовать формулы:

$$v_{0.025, N} = N - 1.96 \cdot \sqrt{2N}, v_{0.975, N} = N + 1.96 \cdot \sqrt{2N}.$$

Поиск оценки $\alpha 1_W$ сводится к решению уравнения

$$\rho_{WS}(\alpha 1) = N \tag{5}$$

итерационными алгоритмами. Оценкой $\alpha 1_W$ считают приближённое решение уравнения (5), которое удовлетворяет неравенству (4). Вычислительный эксперимент показал [2], что рассмотренный алгоритм выбора скалярного параметра позволяет с приемлемой точностью оценить оптимальный скалярный параметр сглаживания $\alpha 1_{opt}$, минимизирующий СКО фильтрации, при этом увеличение ошибки сглаживания по сравнению с минимальной составило 6-10%.

Такой же алгоритм можно построить для вычисления проекций векторного параметра сглаживания. Оценкой j -ой проекции вектора $\overline{\alpha 1}_W$ считают значение $\alpha 1_W^j$, удовлетворяющее неравенству:

$$v_{\frac{\beta}{2}, N_x} \leq \rho_{WV}(\alpha 1_W^j) \leq v_{1-\frac{\beta}{2}, N_x}, \tag{6}$$

Где

$$\rho_{WV}(\alpha 1^{(j)}) = \frac{1}{\sigma_{\eta}^2} \sum_{i=1}^{N_x} e_{N_x, \alpha 1}^{(j)}(t_i) \cdot \tilde{f} 1_i^{(j)}.$$

Поиск оценки $\alpha 1_W^j$ сводится к решению уравнения

$$\rho_{WV}(\alpha 1^{(j)}) = N_x \tag{7}$$

итерационными алгоритмами. Оценкой $\alpha 1_W^j$ считают принимается приближенное решение (7), которая удовлетворяет неравенству (6). Результаты сравнения ошибок сглаживания скалярного и векторного параметров приводятся ниже.

Заметим, что вычисление как скалярного, так и векторного параметров сглаживания на основе критерия оптимальности требует задания достоверной величины дисперсии шума измерения. При заниженном значении дисперсии вычисляется заниженное значение параметра сглаживания, что приводит к «недостаточной» фильтрации шума измерения – высокий уровень «остаточного» шума. При завышенной дисперсии наблюдается обратный эффект – сглаживаются «тонкие» структуры обрабатываемого сигнала. К сожалению, ситуация достоверного знания дисперсии шума измерения в реальном физическом эксперименте скорее исключение, чем правило. Кроме того, при вычислении сплайна на шаге 2 по результатам сглаживания на шаге 1 дисперсия остаточного шума неизвестна. Все это говорит об актуальности разработки алгоритмов выбора параметров сглаживания для случая неизвестной дисперсии шума измерения, которые и составляют предмет дальнейших исследований.

В работе [4] был построен алгоритм выбора параметра сглаживания одномерного СКС на основе метода L-кривой, позволяющий с приемлемой точностью оценить оптимальный параметр сглаживания как в случае некоррелированного, так и для коррелированного шума измерений. Метод L-кривой используется для выбора параметра регуляризации в алгоритмах решения некорректных задач (например, [10], [11]), когда неизвестны характеристики погрешностей исходных данных. Поэтому попытаемся модифицировать алгоритм выбора параметра сглаживания работы [4] для вычисления скалярного и векторного параметров сглаживания.

В случае одномерного СКС $S_{n,\alpha}(x)$ в качестве параметра сглаживания принималась величина α_L , являющаяся решением вариационной задачи:

$$\max_{\alpha > 0} k_L \alpha .$$

Кривизна $k_L \alpha$ L-кривой определяется по формуле:

$$k_L(\alpha) = 2 \cdot \frac{\hat{\rho}'(\alpha) \cdot \hat{\gamma}''(\alpha) - \hat{\rho}''(\alpha) \cdot \hat{\gamma}'(\alpha)}{\left[(\hat{\rho}'(\alpha))^2 + (\hat{\gamma}'(\alpha))^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \tag{8}$$

где, $\rho \alpha = \sum_{i=1}^n p_i^{-1} (\tilde{f}_i - S_{n,\alpha}(x_i))^2$, $\gamma \alpha = \int_{x_1}^{x_n} |S_{n,\alpha}''(x)|^2 dx$. Одномерный СКС $S_{n,\alpha}(x)$ строился по набору данных $x_i, \tilde{f}_i, i = 1 \dots n$. Для равноточных измерений весовые множители p_i задаются одинаковыми. Для эффективного вычисления функционала $\gamma \alpha$ в работе [4] предложена формула:

$$\gamma(\alpha) = \sum_{i=1}^{n-1} (4c_i^2 h_{xi} + 12c_i d_i h_{xi}^2 + 12d_i^2 h_{xi}^3),$$

где $h_{xi} = x_{i+1} - x_i$, $i = 1 \dots n - 1$, c_i , d_i – коэффициенты СКС, вычисленные при заданном параметре α .

Такой же алгоритм выбора можно построить для вычисления проекций векторного параметра сглаживания (для определенности на шаге 2). В качестве i -ой проекции вектора $\overline{\alpha 2_L}$ принимается значение $\alpha 2_L^i$, доставляющее максимум кривизны k_L α L-кривой (см. (8)), вычисленной для сплайна $S2_{N_y, \alpha 2^i}^i(y)$. В этом случае функционалы $\rho \alpha$, $\gamma \alpha$ для этого сплайна определяются выражениями:

$$\rho_{LV}^{(i)}(\alpha 2^{(i)}) = \sum_{j=1}^{N_y} p_{ij}^{-1} (\tilde{f} 2_j^{(i)} - S2_{N_y, \alpha 2^{(i)}}^i(y_j))^2,$$

$$\gamma_{LV}^{(i)}(\alpha 2^{(i)}) = \sum_{j=1}^{N_y-1} \left[4 \cdot (c 2_j^{(i)})^2 \cdot h_{yj} + 12 \cdot c 2_j^{(i)} \cdot d 2_j^{(i)} \cdot h_{yj}^2 + 12 \cdot (d 2_j^{(i)})^2 \cdot h_{yj}^3 \right],$$

где $h_{yj} = y_{j+1} - y_j$, $j = 1 \dots N_y - 1$, $c 2_j^i$, $d 2_j^i$ – коэффициенты сплайна $S2_{N_y, \alpha 2^i}^i$.

Для вычисления скалярного параметра сглаживания (для определенности на шаге 2) определим функционалы $\rho \alpha$, $\gamma \alpha$:

$$\rho_{LS} \alpha 2 = \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \frac{f 2_j^i - S2_{N_y, \alpha 2}^i y_j^2}{P_{i,j}},$$

$$\gamma_{LS} \alpha 2 = \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y-1} \left[4 \cdot c 2_j^i \cdot h_{yi} + c 2_j^i \cdot d 2_j^i \cdot h_{yj}^2 + 12 \cdot d 2_j^i \cdot h_{yj}^3 \right];$$

где p_{ij} – весовые множители для ij -го измерения, $c 2_j^i$, $d 2_j^i$ – коэффициенты сплайна $S2_{N_y, \alpha 2^i}^i$ у, построенного при параметре $\alpha 2$, $h_{yj} = y_{j+1} - y_j$, $j = 1 \dots N_y - 1$. Далее в соответствии с (23) находится значение кривизны и, решая вариационную задачу (22), находим значение $\alpha 2_L$, соответствующее максимальной кривизне L-кривой, и это значение является скалярным параметром сглаживания бикубического сплайна.

Обсуждение результатов вычислительного эксперимента

При практическом использовании описанных алгоритмов выбора могут возникнуть следующие вопросы:

Какова точность сглаживания сплайнов с использованием скалярного и векторного параметров по сравнению с их оптимальными значениями?

Есть ли уменьшение ошибки сглаживания после построения сглаживающего сплайна по второй переменной (см. шаг 2)?

Ответы на эти вопросы можно получить только из анализа результатов вычислительного эксперимента, когда известны точные значения сглаживаемой функции и можно вычислить оптимальные значения параметров сглаживания. Рассмотрим результаты одного из таких выполненных экспериментов.

В качестве тестового (точного) изображения $f(x, y)$ была взята функция двух переменных, изолинии которой приведены на рис. 1. Видно, что изображение имеет достаточно сложную (для задачи фильтрации шума) структуру. Значения этой функции вычислялись в узлах прямоугольной сетки x_i, y_j , $i = 1 \dots N_x = 120$, $j = 1 \dots N_y = 100$, где $x_i = (i - 1) \cdot \Delta_x$, $i = 1 \dots N_x$; $y_j = (j - 1) \cdot \Delta_y$, $j = 1 \dots N_y$, $\Delta_x = 0.03$, $\Delta_y = 0.03$. Эти значения искажались нормально распределенным шумом η_{ij} с дисперсией σ_η^2 , определяемой по задаваемому относительному уровню шума

$\delta_\eta = \frac{\|\eta\|}{\|F^*\|}$, где $\|\eta\|$ означает евклидову норму матрицы η размером 120×100 , сформированной из значений η_{ij} ,

$\|\tilde{F}\|$ – норма матрицы \tilde{F} с элементами $\tilde{F}_{ij} = f(x_i, y_j) + \eta_{ij}$, $i = 1 \dots N_x$, $j = 1 \dots N_y$. Матрица \tilde{F} является исходной для построения СБС и выбора параметров сглаживания.

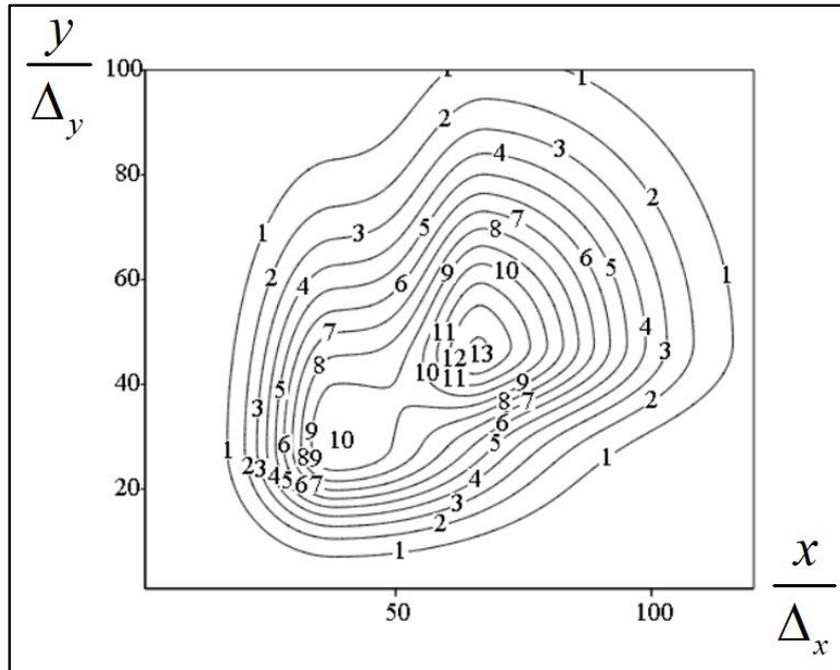


Рис. 1 – Изолинии тестовой функции $f(x, y)$

Введем несколько характеристик, позволяющих дать ответы на выше заданные два вопроса. Относительную ошибку сглаживания по переменной x (шаг 1) определим, как:

$$\delta_{1x}(\alpha 1) = \frac{\|F_x(\alpha 1) - F\|}{\|F\|} \tag{9}$$

где $F_x \alpha 1$ – матрица размером $N_x \times N_y$, составленная из значений СБС в узлах сетки, построенный на шаге 1 с параметром сглаживания $\alpha 1$, F – матрица размером $N_x \times N_y$, составленная из точных значений функции $f(x, y)$. Относительную ошибку сглаживания на шаге 2 (по переменной y) определим выражением:

$$\delta_{xy}(\alpha 2) = \frac{\|F_{xy}(\alpha 2) - F\|}{\|F\|} \tag{10}$$

Обозначения α_{1opt} , $\overline{\alpha 1}_{opt}$ означают оптимальные скалярный и векторный параметры сглаживания, вычисленные на первом шаге из условия минимума соответствующей относительной ошибки сглаживания (9), α_{1w} , $\overline{\alpha 1}_w$ – параметры сглаживания, вычисленные на основе проверки неравенств (4), (6), α_{1L} , $\overline{\alpha 1}_L$ – параметры сглаживания, вычисленные на основе метода L-кривой. Для параметров сглаживания, вычисленных на шаге 2 используются аналогичные обозначения: α_{2opt} , $\overline{\alpha 2}_{opt}$ (находятся из условия минимума (10)), α_{2L} , $\overline{\alpha 2}_L$ (метод L-кривой).

Для ответа на первый вопрос введем в рассмотрение следующие коэффициенты эффективности того или иного способа выбора параметров (индекс S означает скалярный, V – векторный параметр сглаживания):
на шаге 1

$$K1_S(\alpha_{1w}) = \frac{\delta_x(\alpha_{1opt})}{\delta_x(\alpha_{1w})}, K1_V(\overline{\alpha 1}_w) = \frac{\delta_x(\overline{\alpha 1}_{opt})}{\delta_x(\overline{\alpha 1}_w)},$$

$$K1_S(\alpha_{1L}) = \frac{\delta_x(\alpha_{1opt})}{\delta_x(\alpha_{1L})}, K1_V(\overline{\alpha 1}_L) = \frac{\delta_x(\overline{\alpha 1}_{opt})}{\delta_x(\overline{\alpha 1}_L)},$$

на шаге 2

$$K2_S(\alpha_{2L}) = \frac{\delta_{xy}(\alpha_{2opt})}{\delta_{xy}(\alpha_{2L})}, K2_V(\overline{\alpha 2}_L) = \frac{\delta_{xy}(\overline{\alpha 2}_{opt})}{\delta_{xy}(\overline{\alpha 2}_L)}.$$

Очевидно, что эти коэффициенты меняются в интервале от 0 до 1 и их значения являются случайными величинами, так как зависят от реализации шума измерений. Поэтому по выборке объемом 30 вычислялись выборочные средние этих коэффициентов (черточка вверху в их обозначениях) – оценки математического ожидания этих случайных величин. Чем больше эти средние отклоняются от 1 в меньшую сторону, тем больше проигрыш по точности сплайна,

построенного с соответствующими параметрами сглаживания. Средние значения коэффициентов эффективности приведены в таблице 1 для трех уровней шума: 0,02, 0,04, 0,06.

Таблица 1 – Коэффициенты эффективности выбора параметров сглаживания

Относительный уровень шума δ_η	Коэффициенты эффективности					
	на шаге 1				на шаге 2	
	$\bar{K}_{1S}(\alpha_{1W})$	$\bar{K}_{1V}(\bar{\alpha}_{1W})$	$\bar{K}_{1S}(\alpha_{1L})$	$\bar{K}_{1V}(\bar{\alpha}_{1L})$	$\bar{K}_{2S}(\alpha_{2L})$	$\bar{K}_{2V}(\bar{\alpha}_{2L})$
0,02	0,985	0,898	0,995	0,965	0,916	0,889
0,04	0,983	0,889	0,994	0,926	0,897	0,876
0,06	0,981	0,879	0,991	0,898	0,832	0,820

Анализ этой таблицы показывает, что:

- алгоритмы выбора параметров сглаживания, основанные как на проверке критерия оптимальности, так и на методе L-кривой, оценивают на шаге 1 оптимальные значения с хорошей точностью (увеличение относительной ошибки сглаживания на 5-15%), однако коэффициент эффективности у скалярного параметра выше, чем у векторного;
- с увеличением уровня шума значения коэффициентов эффективности уменьшаются у всех способов выбора параметров сглаживания;
- на шаге 2 коэффициенты эффективности параметров сглаживания, вычисляемых методом L-кривой (дисперсия остаточного шума после первого шага считается не известной) имеют меньшие значения по сравнению с шагом 1.

Для ответа на второй вопрос об уменьшении ошибки сглаживания после построения на шаге 2 сглаживающего сплайна по второй переменной (вторичное сглаживание), введем следующие коэффициенты:

$$K_{optS}(\alpha_{opt}) = \frac{\delta_x(\alpha_{1opt})}{\delta_{xy}(\alpha_{2opt})}, K_{optV}(\bar{\alpha}_{opt}) = \frac{\delta_x(\bar{\alpha}_{1opt})}{\delta_{xy}(\bar{\alpha}_{2opt})},$$

показывающие во сколько раз уменьшается ошибка сглаживания для оптимальных скалярного и векторного параметров СБС;

$$K_{LS}(\alpha_L) = \frac{\delta_x(\alpha_{1L})}{\delta_{xy}(\alpha_{2L})}, K_{LV}(\bar{\alpha}_L) = \frac{\delta_x(\bar{\alpha}_{1L})}{\delta_{xy}(\bar{\alpha}_{2L})},$$

показывающие во сколько раз уменьшается ошибка сглаживания для скалярного и векторного параметров СБС, вычисленных на основе метода L-кривой. Средние значения этих коэффициентов (назовем их коэффициентами эффективности вторичного сглаживания) приведены в таблице 2, здесь же приведены средние значения ошибки сглаживания $\delta_{xy} \alpha_{2L}$ на втором шаге для разных уровней шума.

Таблица 2 – Коэффициенты эффективности вторичного сглаживания

Относительный уровень шума δ_η	Коэффициенты эффективности				Относительная ошибка сглаживания $\bar{\delta}_{xy}(\alpha_{2L})$
	$\bar{K}_{optS}(\alpha_{opt})$	$\bar{K}_{optV}(\bar{\alpha}_{opt})$	$\bar{K}_{LS}(\alpha_L)$	$\bar{K}_{LV}(\bar{\alpha}_L)$	
0,02	1,982	1,896	1,732	1,641	0,004
0,04	2,074	2,011	1,669	1,581	0,009
0,06	2,241	2,071	1,573	1,498	0,013

По результатам таблицы 2 видно, что, не смотря на уменьшение коэффициентов эффективности для параметров сглаживания, вычисленных методом L-кривой по сравнению с оптимальными значениями (которые невозможно определить на практике), уменьшение ошибки сглаживания на шаге 2 составляет значительную величину (уменьшение на 30-50% от ошибки сглаживания на шаге 1). В качестве иллюстрации этого факта на рис. 2 представлены изолинии результата сглаживания зашумленного сигнала на шаге 1 (уровень шума $\delta_\eta = 0,06$, ошибка сглаживания 0,015), а на рис. 3 – изолинии результата сглаживания после шага 2 (ошибка сглаживания 0,010). Видно значительное уменьшение ошибки сглаживания (как количественное, так и качественное).

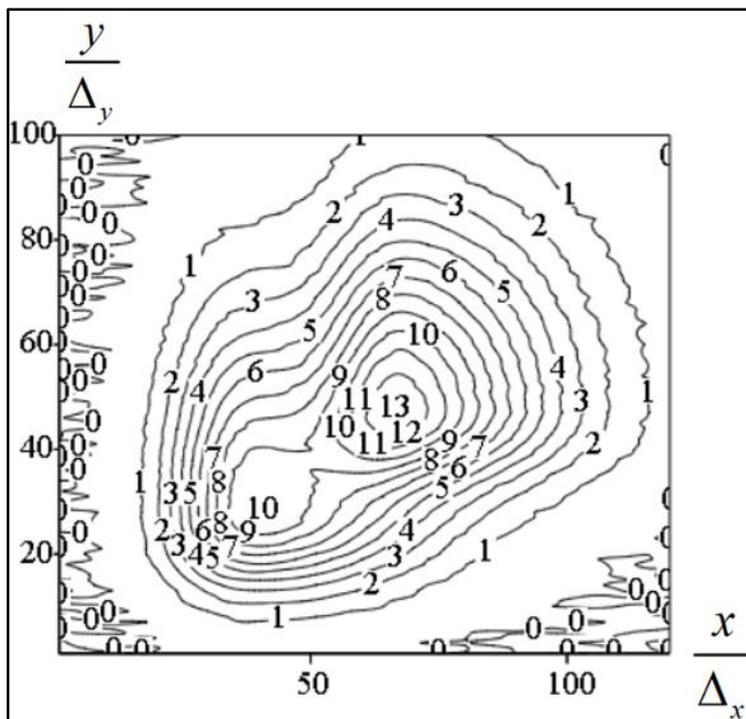


Рис. 2 – Результат сглаживания на шаге 1

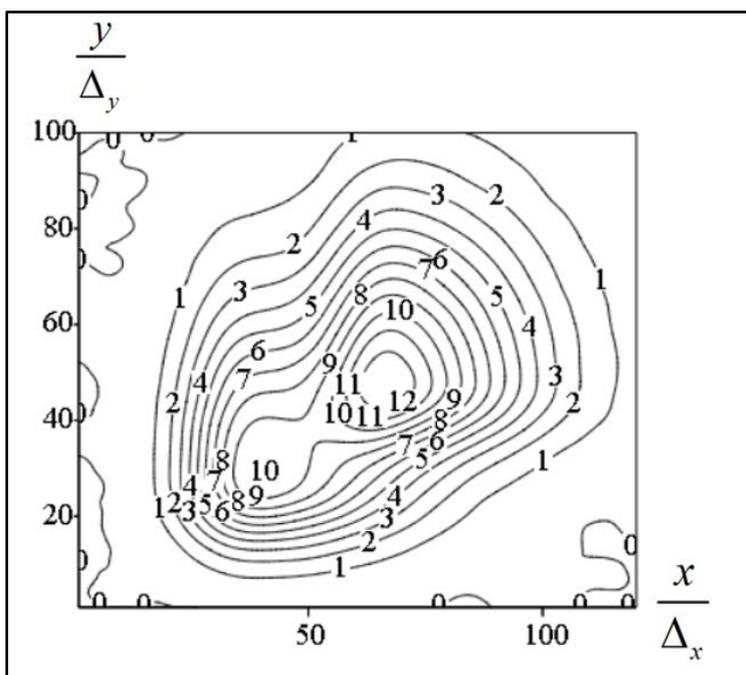


Рис. 3 – Результат сглаживания на шаге 2

Заключение

Численные исследования свидетельствуют, что предложенные алгоритмы оценивания оптимальных значений скалярного и векторного параметров сглаживания практически решают проблему выбора параметров сглаживания бикубического сплайна как при известной, так и при неизвестной дисперсии шума измерений. Это позволяет их рекомендовать для практического использования для решения различных задач обработки и интерпретации экспериментальных данных, особенно при автоматизированной обработке результатов эксперимента.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00409).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90041.

Funding

The research was supported by RSF (project No. 22-21-00409).

The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 20-38-90041.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Завьялов Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – М. : Наука, 1980. – 345 с.
2. Воскобойников Ю. Е. Математическая обработка эксперимента в молекулярной газодинамике / Ю. Е. Воскобойников, Н. Г. Преображенский, А. И. Седельников. – Новосибирск : Наука, 1984. – 238 с.
3. Воскобойников Ю. Е. Новый устойчивый алгоритм непараметрической идентификации технических систем / Ю. Е. Воскобойников, В. А. Боева // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 5. – С. 25-29.
4. Воскобойников Ю. Е. Метод L-кривой для оценивания оптимального параметра сглаживающего кубического сплайна / Ю. Е. Воскобойников, В. А. Боева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 11 (113). – Ч. 1. – С. 6-13. DOI : 10.23670/IRJ.2021.113.11.003.
5. Wang Y. Smoothing Splines Methods and Applications. Ser. Monographs on Statistics and Applied Probability v. 121 / Y. Wang. – New York : A Chapman & Hall book, 2011. – 347 p.
6. Apartsyn A. S. Modeling of Nonlinear Dynamic Systems with Volterra Polynomials : Elements of Theory and Applications / A. S. Apartsyn, S. V. Solodusha, V. A. Spiryaev // Int. J. Energy Optim. Eng. – 2013. – No. 2. – P. 16–43. DOI: 10.4018/ijeoe.2013100102.
7. Солoduша С. В. Численное моделирование динамики теплообмена модифицированным квадратичным полиномом Вольтеры / С. В. Солoduша // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – № 2. – С. 84-94.
8. Солoduша С. В. Квадратичные и кубичные полиномы Вольтерра: идентификация и приложение // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2018. – Т. 14. – Вып. 2. – С. 131–144. DOI: 10.21638/11702/spbu10.2018.205
9. Воскобойников Ю. Е. Устойчивый алгоритм вычисления смешанных производных в задачах непараметрической идентификации нелинейных систем / Ю.Е. Воскобойников, В.А. Боева // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 4 – С. 25-29. DOI: 10.17513/snt.38610.
10. Rezhghi M. A new variant of L-curve for Tikhonov regularization / M. Rezhghi, S. M. Hosseini // J. Comput. Appl. Math. – 2012. – No. 231 (5). – P. 914–924. DOI: 10.1016/j.cam.2009.05.016
11. Cultrera A. A simple algorithm to find the L-curve corner in the regularisation of ill-posed inverse problems / A. Cultrera, L. Callegaro // IOP SciNotes. – 2020. – Vol. 1. – No. 2. – P. 32-39. DOI: 10.1088/2633-1357/abad0d

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zav'yalov YU. S. Metody splajn-funkcij [Spline function methods] / YU. S. Zav'yalov, B. I. Kvasov, V. L. Miroshnichenko. – M. : Nauka, 1980. – 345 p. [in Russian]
2. Voskoboynikov YU. E. Matematicheskaya obrabotka eksperimenta v molekulyarnoj gazodinamike [Mathematical processing of an experiment in molecular gas dynamics] / YU. E. Voskoboynikov, N. G. Preobrazhenskij, A. I. Sedel'nikov. – Novosibirsk : Nauka, 1984. – 238 p. [in Russian]
3. Voskoboynikov YU. E. Novyj ustojchivyy algoritm neparametricheskoj identifikacii tekhnicheskikh sistem [New stable algorithm for nonparametric identification of technical systems] / YU. E. Voskoboynikov, V. A. Boeva // Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technologies]. – 2019. – No. 5. – P. 25-29. [in Russian]
4. Voskoboynikov YU. E. Metod L-krivoj dlya ocenivaniya optimal'nogo parametra sglazhivayushchego kubicheskogo splajna [L-curve method for evaluating the optimal parameter of a smoothing cubic spline] / YU. E. Voskoboynikov, V. A. Boeva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. – 2021. – No. 11 (113). – Iss. 1. – P. 6-13. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.003. [in Russian]
5. Wang Y. Smoothing Splines Methods and Applications. Ser. Monographs on Statistics and Applied Probability v. 121 / Y. Wang. – New York : A Chapman & Hall book, 2011. – 347 p.
6. Apartsyn A. S. Modeling of Nonlinear Dynamic Systems with Volterra Polynomials : Elements of Theory and Applications / A. S. Apartsyn, S. V. Solodusha, V. A. Spiryaev // Int. J. Energy Optim. Eng. – 2013. – No. 2. – P. 16–43. DOI: 10.4018/ijeoe.2013100102.
7. Solodusha S. V. Chislennoe modelirovanie dinamiki teploobmena modifitsirovannym kvadrachnym polinomom Vol'tery [Numerical modeling of heat exchange dynamics by modified quadratic Volterra polynomial] / S. V. Solodusha // Vychislitel'nye tekhnologii [Computational Technologies]. – 2013. – Vol. 18. – No. 2. – P. 84-94. [in Russian]
8. Solodusha S. V. Kvadrachnye i kubichnye polinomy Vol'terra: identifikacija i prilozhenie [Quadratic and cubic Volterra polynomials : Identification and application] / S. V. Solodusha // Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Prikladnaya Matematika, Informatika, Protsessy Upravleniya. [Bulletin of St. Petersburg University. Applied mathematics. Computer science. Management Processes] – 2018. – Vol. 14. – No. 2. – P. 131-144. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2018.205.
9. Voskoboynikov YU. E. Ustojchivyy algoritm vychisleniya smeshannyh proizvodnyh v zadachah neparametricheskoj identifikacii nelinejnyh sistem [Stable algorithm for computing mixed derivatives in problems of nonparametric identification of nonlinear systems] / YU. E. Voskoboynikov, V. A. Boeva // Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technologies]. – 2021. – No. 4 – P. 25-29. DOI: 10.17513/snt.38610. [in Russian]
10. Rezhghi M. A new variant of L-curve for Tikhonov regularization / M. Rezhghi, S. M. Hosseini // J. Comput. Appl. Math. – 2012. – No. 231 (5). – P. 914–924. DOI : 10.1016/j.cam.2009.05.016
11. Cultrera A. A simple algorithm to find the L-curve corner in the regularisation of ill-posed inverse problems / A. Cultrera, L. Callegaro // IOP SciNotes, 2020. – Vol. 1. – No. 2. – P. 32-39. DOI: 10.1088/2633-1357/abad0d

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.007>

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ С МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GRPC В КАЧЕСТВЕ ПРОТОКОЛА МЕЖСЕРВИСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПЛАТФОРМЫ .NET CORE 3 НА ПЛАТФОРМУ .NET 6

Научная статья

Гагарин В.Ю.^{1,*}, Вагнер А.В.², Тропченко А.А.³^{1, 2, 3} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (gagarinvy[at]itmo.ru)

Аннотация

В последнее время продукты компании Microsoft начинают всё чаще использоваться в коммерческой разработке. Они активно захватывают рынок enterprise приложений. Раньше .NET Framework задавал множество ограничений, среди которых было использование операционной системы Windows в качестве базовой среды размещения. Сегодня, с появлением кроссплатформенной среды .NET Core, разработчики программного обеспечения получили платформу с открытым исходным кодом и возможность создавать приложения различного типа на разных операционных системах. В данной статье проводится сравнительный анализ особенностей платформ 3 и 6 версий. При этом в статье показаны технические особенности миграции проектов с микросервисной архитектурой и использованием GRPC в качестве протокола межсервисного взаимодействия с одной платформы на другую. Результатами являются описание и план действий по миграции, который необходим для безопасного перевода проекта на новую платформу, и сравнение итогов нагрузочного тестирования промышленного приложения с микросервисной архитектурой, работающего под управлением двух разных платформ.

Ключевые слова: миграция, .NET, микросервисная архитектура, GRPC.

FEATURES OF MIGRATION OF TECHNICAL PROJECTS WITH MICROSERVICE ARCHITECTURE AND THE USE OF GRPC AS AN INTER-SERVICE COMMUNICATION PROTOCOL FROM .NET CORE 3 TO .NET 6

Research article

Gagarin V.Yu.^{1,*}, Vagner A.V.², Tropchenko A.A.³^{1, 2, 3} ITMO University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (gagarinvy[at]itmo.ru)

Abstract

Recently, Microsoft products have been increasingly used in commercial development. They are actively capturing the enterprise application market. Earlier .NET Framework set many restrictions, among which was the use of the Windows operating system as the base hosting environment. Today, with the advent of a cross-platform environment .NET Core, software developers have received an open source platform and the ability to create applications of various types on different operating systems. This article provides a comparative analysis of the features of the platform's versions 3 and 6. At the same time, the article shows the technical features of the migration of projects with microservice architecture and the use of GRPC as an inter-service communication protocol from one platform to another. The results of the research are a description and an action plan for migration, which is necessary for the safe transfer of the project to a new platform, and a comparison of the results of load testing of an industrial application with a microservice architecture running on two different platforms.

Keywords: migration, .NET, microservice architecture, GRPC.

Введение

Количество пользователей социально-промышленных интернет-систем растёт с каждым днём. Число людей, которые регулярно посещают, например, социальную сеть Facebook, увеличилось за прошедший год на восемь процентов и достигло отметки в 2,5 миллиарда человек. Каждые 5 лет сложность информационных сервисов, в среднем, увеличивается в 10 раз. Если раньше одного разработчика программного обеспечения было достаточно для создания программного продукта, то теперь для выполнения аналогичной задачи создаются целые отделы. Как горизонтально и вертикально масштабировать такую платформу при бурном росте числа пользователей? Какие современные технологии использовать для оптимизации нагрузки в архитектуре таких систем?

На сегодняшний день понятие высоконагруженного программного комплекса неразрывно связано с прикладными средствами доставки и размещения программного обеспечения. На микро-оптимизации нагрузки в приложениях с микросервисной архитектурой могут напрямую влиять особенности используемой платформы.

Работая в компании, которая занимается разработкой подобного highload решения, мы стараемся много времени уделять соблюдению гарантированно заданных показателей пропускной способности системы, разработке новых методов и средств оптимизации нагрузки или оценке существующих параметров эффективности.

Целью данной работы является попытка уменьшить среднее время выполнения запроса к нашей системе за счёт миграции микросервисов на новую платформу .NET 6.

Исходя из поставленной цели были определены пять основных задач:

1. Дать краткую характеристику использования платформ .NET Core 3 и .NET 6 на базе протокола GRPC;
2. Провести сравнительный анализ платформ, выделив их основные достоинства и недостатки;
3. Выполнить миграцию части микросервисов промышленного приложения на новую платформу .NET 6, выработав шаблон перехода;
4. Провести нагрузочное тестирование части функционала промышленной системы;
5. Дать оценку эффективности работы промышленной системы на разных платформах.

Сравнительный анализ платформ

.NET Core 3 представляет из себя кроссплатформенную среду разработки, поэтому в качестве прикладного средства доставки и размещения программного обеспечения можно использовать разные операционные системы – Windows, macOS или Linux. Продукт разрабатывается компанией Microsoft и имеет открытый исходный код. Благодаря этому сформировано большое лояльное сообщество разработчиков, постоянно дополняющих и улучшающих платформу. На базе .NET Core возможно разрабатывать широкий спектр различных типов приложений: десктопные, мобильные, веб-приложения, облачные сервисы, продукты для интернета вещей, игры, искусственный интеллект.

При этом в .NET 6 появился ряд существенных архитектурно-технических изменений, которые потенциально могут повысить производительность приложений. Из основных можно выделить следующие:

- GRPC сервер на языке C#;
- Поддержка технологии ReadyToRun для JIT компиляции;
- Поддержка Profile-Guided Optimization;
- Поддержка горячей перезагрузки приложений.

JIT компилятор – это одновременно и преимущество и недостаток. С одной стороны, программа тратит меньше времени на запуск приложения, а с другой – время выполнения первых запросов к системе может превышать привычный таймаут, и они будут завершаться с ошибкой. Такая начальная задержка иногда ещё называется «прогревом». Дело в том, что сначала компилятор компилирует код в промежуточный язык (intermediate language), а уже потом срабатывает JIT компилятор. Он обрабатывает только тот код, который был непосредственно вызван пользователем.

Технология ReadyToRun позволяет предварительно осуществить сборку всего приложения, а уже потом запустить программу. Логично, что в таком случае мы не будем терять время на «прогрев», и время выполнения первых запросов к системе не будет кратно увеличено, а будет примерно совпадать со временем выполнения последующих запросов.

Говоря про особенности протокола GRPC, нужно понимать, что это система удалённого вызова процедур, которая в качестве транспорта использует HTTP/2. В .NET 6 появилась практически встроенная поддержка Keep Alive пингов, которые позволяют удерживать активные HTTP/2 соединения в периоды бездействия, что безусловно тоже снижает накладные расходы.

Чтобы нагляднее продемонстрировать различия и особенности двух разных платформ, обратимся к таблице ниже (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ платформ .NET Core 3 и .NET 6

	.NET Core 3	.NET 6
GRPC сервер на языке C#	-	+
Keep alive пинги	-	+
Сериализация объектов	+	Множество улучшений
Поддержка Arm64 (Apple)	-	+
Технология PGO	-	+
Технология ReadyToRun	+/-	+
Технология HotReload	-	+

Особенности миграции

.NET Core 3 не содержит сторонних библиотек, которые бы имели поддержку GRPC сервера, написанного на языке C#. В библиотеке Grpc.Core он реализован на языке C++, поэтому существуют накладные расходы на конвертацию и преобразование вызовов. Используется C++ Interop (Implicit PInvoke). Очень важное нововведение в .NET 6 заключается в том, что появился nuget пакет Grpc.AspNetCore, который содержит GRPC сервер, написанный на языке C#. Это упрощает и реализацию, и поддержку программных GRPC вызовов.

В случае, когда в проекте используется nuget пакет Autofac для регистрации компонентов, то от него тоже можно отказаться в новой версии .NET. Вместо этого можно использовать ServiceCollection.

Если необходимо собирать метрики в какую-то систему сбора метрик, например Prometheus, то можно воспользоваться nuget пакетами NetGrpcPrometheus, prometheus-net.DotNetRuntime и Prometheus.Client.MetricServer.

Также в новой платформе можно использовать новую 9 версию языка C#, которая содержит множество новых функций и улучшений: record-типы, init-свойства, атрибуты у локальных типов, упрощённая структура кода и. т. д.

Основные результаты

Для сравнения работоспособности промышленного приложения, работающего под управлением двух разных платформ, было проведено нагрузочное тестирование с помощью программы Apache JMeter.

Тестовые пользователи в количестве 100000 юнитов генерировали случайную нагрузку, осуществляя действия, приближенные к поведению реальных пользователей в системе. Длительность теста составила порядка 90 минут.

Далее с помощью системы сбора метрик Prometheus, которая используется для анализа данных и мониторинга распределенных высоконагруженных приложений, были собраны метрики использования ресурсов сервера компании.

В пике нагрузки суммарное количество запросов к микросервису ApiGateway достигало показателя в ~ 37000 запросов (см. рисунок 1). Показатели нагрузки снимались каждые 15 минут. При этом видно, что до начала тестирования и после его окончания, ресурсы сервера были задействованы в штатном режиме. Чтобы посчитать среднее количество запросов к системе за единицу времени нужно разделить общее количество запросов за время проведения нагрузочного тестирования на время выполнения всего теста.

$$ARPS \approx \frac{SRQ}{STI * TIQ * 60} \approx \frac{\sim 150000}{15_{\min} * 6 * 60_{\sec}} \approx 28 \text{ rps} \quad (1)$$

где:

ARPS – average request per second (среднее количество запросов к системе в секунду);

STI – snippet time interval (временной интервал сбора статистики в минутах);

TIQ – time interval count (количество временных интервалов за время проведения теста).

Следующим шагом были определены показатели среднего времени выполнения запроса к системе (см. рисунок 2). Для наглядности они были разведены по двум таблицам и сгруппированы по конкретным микросервисам для двух разных платформ. Исходя из этого рисунка, можно определить, что процент уменьшения среднего времени выполнения запроса к системе составил ~ 7,65 %.

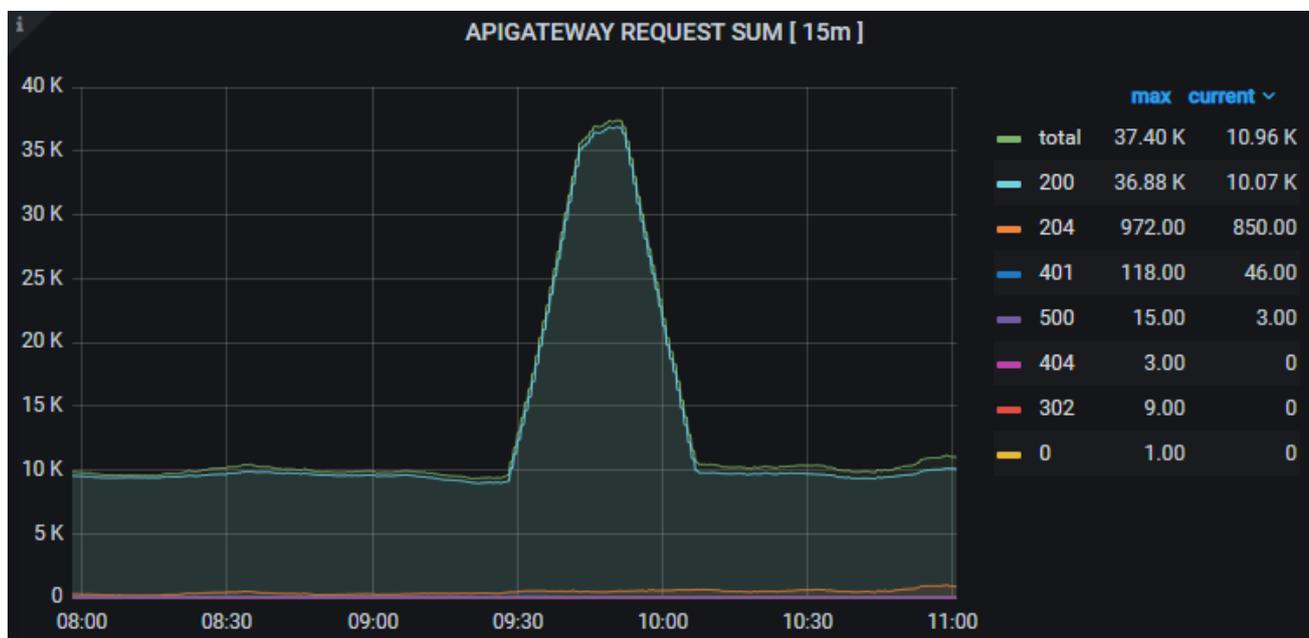


Рис. 1 – Суммарное количество запросов к микросервису ApiGateway за каждые 15 минут времени

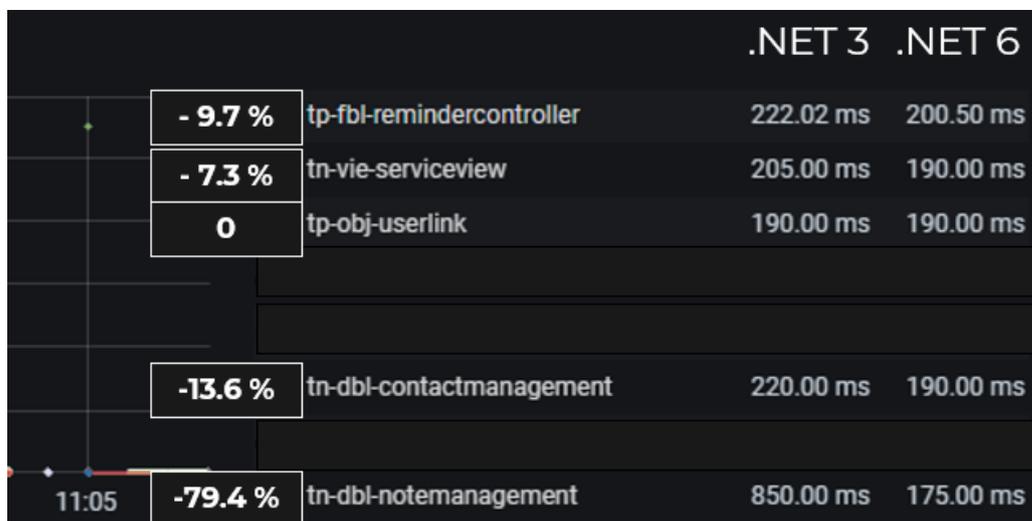


Рис. 2 – Сравнение среднего времени выполнения запроса к системе под управлением двух разных платформ

При этом в расчётах не учитывался показатель для микросервиса `tn-fbl-notemanagement`, который составил ~ 79,4 %. Такое сильное уменьшение не может быть связано с переводом проекта на новую платформу, и, скорее всего, имели место какие-то другие особенности работы системы, которые предстоит исследовать в дальнейшем.

$$\Delta ART_{\%} \approx \sum_{i=1}^N \frac{100\% - \frac{ART(.NET\ 6)}{ART(.NET\ 3)}}{N} \approx 7.65\% \quad (2)$$

где:

ART – average response time (среднее время ответа сервера);

N – количество микросервисов, задействованных в тестировании и участвующих в итоговом расчёте.

Если говорить о конфигурации инфраструктуры, на базе которой проводилось нагрузочное тестирование, то в рамках данной работы промышленная система работала под управлением:

- 4 VM под ~ 20 микросервисов (16 % от всей системы)
- OS Rocky (Centos 8) на каждой VM
- 12 GB RAM на каждую VM
- 6 vCPU на каждую VM

Заключение

После перевода части микросервисов промышленного приложения на новую платформу .NET 6 и проведения нагрузочного тестирования, результаты по показателям среднего времени ответа от сервера соответствуют заявленным ожиданиям. Единственное, в дальнейшем нужно разобраться с данными, которые сильно выходят за границу среднего значения. Определить, что вызвало такие изменения. По итогу принято решение о дальнейшей миграции системы, используя выработанный шаблон перехода. В .NET 6 есть и собственный сервер GRPC на языке C#, и улучшенная работа технологии ReadyToRun, и keep alive пинги. С точки зрения эффективности работы нашей промышленной системы на разных платформах понятно, что платформа .NET 6 выглядит более привлекательно для дальнейшего исследования и изучения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Fowler M. Patterns of Enterprise Application Architecture. / M. Fowler. – Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002. – 576 p.
2. Evans E. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software. / E. Evans. – Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2003. – 592 p.
3. Flygare R. Performance characteristics between monolithic and microservice-based systems. / R. Flygare, A. Holmqvist. // Bachelor's Thesis, Faculty of Computing at Blekinge Institute of Technology. – 2017. – pp. 165–176.
4. Kubernetes as an availability manager for microservice applications. / L. A. Vayghan M. A. Saied, M. Toeroe et al. // arXiv preprint arXiv:1901.04946. – 2019.
5. Jamshidi P. Pattern-based multi-cloud architecture migration. / P. Jamshidi, C. Pahl, N.C. Mendonca. // Softw.Pract.Exp.47. – 2017.
6. Balalaie A. Microservices architecture enables DevOps: migration to a cloud-native architecture. / A. Balalaie, A. Heydarnoori, P. Jamshidi. // IEEE Softw. 33. – 2016.
7. Mauro. T. Adopting Microservices at Netflix: Lessons for Architectural Design. [Electronic resource] URL: <https://www.nginx.com/blog/microservices-at-netflix-architectural-best-practices/>. (accessed: 10.06.2021).
8. Rodriguez M. A. Containers orchestration with cost-efficient autoscaling in cloud computing environments. / M. A. Rodriguez, R. Buyya // arXiv:1812.00300. – 2018.
9. What's new in .NET 6. [Electronic resource] URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/core/whats-new/dotnet-core-3-1>. (accessed: 23.05.2021).
10. What's new in .NET Core 3.1. [Electronic resource] URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/core/whats-new/dotnet-6>. (accessed: 14.10.2021).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.008>**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ**

Научная статья

Дарманян А.П.^{1,*}, Богданов С.И.², Маркин М.А.³¹ ORCID: 0000-0002-1956-9892;² ORCID: 0000-0002-3111-2895;^{1, 2, 3} Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

* Корреспондирующий автор (A.Darmanyany[at]volgau.com)

Аннотация

В работе приведены результаты лабораторных экспериментальных исследований изменения влажности зерна озимой пшеницы W от времени t (сек) в процессе сушки при двух значениях начальной влажности W_0 (24% и 17,5%), в диапазоне температур сушки 100°C–160°C с интервалом 20°C. Средствами ПП Statistica 6.0 с помощью множественного регрессионного анализа найдена математическая модель для описания кинетики сушки зерна озимой пшеницы в виде трехпараметрической двухфакторной модели $W/W_0 = a_0 + a_1*t + a_2*t^2 + \varepsilon$, статистическая значимость которой подтверждена высокими значениями коэффициента детерминации при всех исследованных режимов сушки в диапазоне 0,993-0,997 и значениями критерия Фишера. Определены параметры найденной математической модели для всех исследованных технологических режимов и выполнено сравнение расчетных значений влажности зерна в различные моменты времени с реальными значениями.

Ключевые слова: озимая пшеница, сушка зерна, влажность, моделирование, регрессионный анализ.**MATHEMATICAL MODELING OF WINTER WHEAT GRAIN MOISTURE KINETICS DURING DRYING**

Research article

Darmanyany A.P.^{1,*}, Bogdanov S.I.², Markin M.A.³¹ ORCID: 0000-0002-1956-9892;² ORCID: 0000-0002-3111-2895;^{1, 2, 3} Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

* Corresponding author (A.Darmanyany[at]volgau.com)

Abstract

The paper presents the results of laboratory experimental studies of changes in the moisture content of winter wheat grain W from time t (sec) during drying at two values of initial humidity W_0 (24% and 17.5%), in the drying temperature range of 100 °C – 160 °C with an interval of 20°C. By means of Statistica 6.0, using multiple regression analysis, a mathematical model was found to describe the kinetics of drying winter wheat grain in the form of a three-parameter two-factor model $W/W_0 = a_0 + a_1*t + a_2*t^2 + \varepsilon$, the statistical significance of which is confirmed by high values of the coefficient of determination for all drying modes under study in the range 0.993-0.997 and values of the Fisher criterion. The article determines the parameters of the found mathematical model for all the technological modes under study and compares the calculated values of grain moisture at various points in time with real values.

Keywords: winter wheat, grain drying, humidity, modeling, regression analysis.**Введение**

Важным этапом послеуборочной обработки зерновых культур является процесс сушки зерна, в котором зерно высушивают от начальной влажности $W_0 = (17 - 26)\%$ до кондиционного значения $W_k = (13 - 14)\%$, которое регламентировано ГОСТом [1]. Известны результаты экспериментальных исследований процесса сушки зерна, которые были проведены на различных зерновых культурах таких, как амарант [2] и ячмень [3] с использованием разнообразных конструкций сушилок и при различных технологических условиях [3], [4], [5]. В результате экспериментальных исследований процесса сушки зерна в конкретных сушилках, а также в результате математического моделирования самого процесса сушки зерна были предложены различные регрессионные модели [4], [6], [7] для описания кинетики сушки зерна в виде временной зависимости влажности зерна. Однако зачастую такие модели представляют сложные нелинейные регрессионные зависимости, параметрами которых являются многочисленные технологические условия и конструктивные особенности проведения процесса сушки [3], [4], [5], [6].

В тоже время для расчета размеров сушильных установок и определения их производительности необходимо иметь математическую модель, которая описывала бы сам процесс сушки зерна как временной процесс изменения влажности зерна от начального состояния до кондиционного значения под воздействием температуры, т.е. необходима математическая модель кинетики сушки. И особенно это важно для такой широко распространенной зерновой культуры, как зерно озимой пшеницы. На наш взгляд, одной из причин отсутствия приемлемой для расчетов сушильного оборудования математической модели сушки зерна озимой пшеницы является неэффективное использование прикладных статистических методов для обработки экспериментальных данных [8], [9].

Цель исследования

Экспериментальное исследование процесса сушки зерна озимой пшеницы и формирование на основе этих исследований математической модели для описания кинетики влажности зерна в зависимости от температуры сушки и его начальной влажности.

Методы исследования

Эксперименты проводились на лабораторной установке с использованием влагомера весовой серии МХ-50 [10]. В экспериментах использовалось зерно озимой пшеницы, выращенное в хозяйстве УНПЦ «Горная поляна» (г. Волгоград), которое имело следующие характеристики: начальная влажность $W_0 = 17,5\%$ и 24% , содержание клейковины 31,2; качество клейковины (ИДК) 102; содержание белка 17,8%. Зерно в количестве 15г подвергалось сушке при температуре T от 100°C до 160°C с интервалом 20°C . В соответствии с рекомендациями [11] методика проведения экспериментов заключалась в следующем. Сначала с помощью весов отвешивалось 15 грамм увлажненного зерна, выбиралась встроенная в прибор МХ-50 программа для сушки зерна, затем при условии поддержания выбранного температурного режима измерялась влажность зерна в зависимости от текущего времени t (сек). Экспериментальные исследования проводились при температуре окружающей среды 23°C и относительной влажности воздуха 48%. В каждом эксперименте влажность зерна измерялась через постоянные интервалы времени ($t = 10$ сек), в результате чего были получены кинетические кривые влажности зерна в виде $W = f(t)$ для каждой температуры T и для каждого значения начальной влажности ($W_0 = 18\%$ и 24%).

Основные результаты

Для проведения математического моделирования полученные экспериментальные кинетические кривые были преобразованы в безразмерный вид $W/W_0 = f(t)$, где W_0 – начальная влажность.

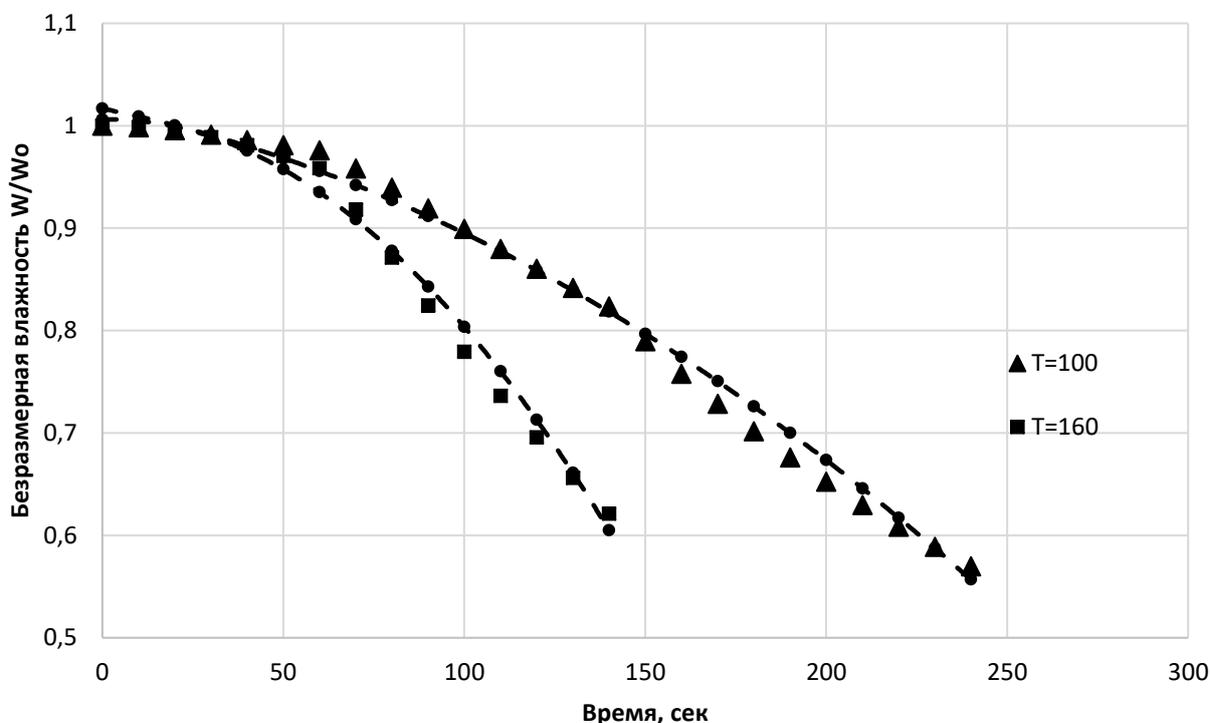


Рис. 1 – Кинетические кривые влажности зерна озимой пшеницы с начальной влажностью 24% при различных температурах:
пунктирные линии – регрессионная модель (1) с параметрами из таблицы 1

На рис.1 показаны безразмерные кинетические кривые влажности зерна с начальной влажностью 24% при двух значениях температуры сушки (100°C и 160°C), а на рис.2 – для зерна с начальной влажностью 17,5% при тех же значениях температуры. Общий вид полученных нами кинетических кривых соответствует таким же кинетическим кривым, которые приведены в работах [2], [7]. Как видно из полученных временных закономерностей (см.рис.1 и рис.2) изменение влажности зерна озимой пшеницы в процессе сушки — это сложный нелинейный процесс во времени.

Для поиска математической модели, которая могла бы описать такие нелинейные закономерности, в качестве инструментария был использован множественный регрессионный анализ в среде ПП Statistica 6.0 [12], причем в качестве математической модели была выбрана следующая трехпараметрическая двухфакторная модель:

$$W / W_0 = a_0 + a_1 * t + a_2 * t^2 + \varepsilon, \quad (1)$$

где t – время (сек), W_0 – начальная влажность (%), a_0 , a_1 и a_2 – параметры модели, ε – случайная величина.

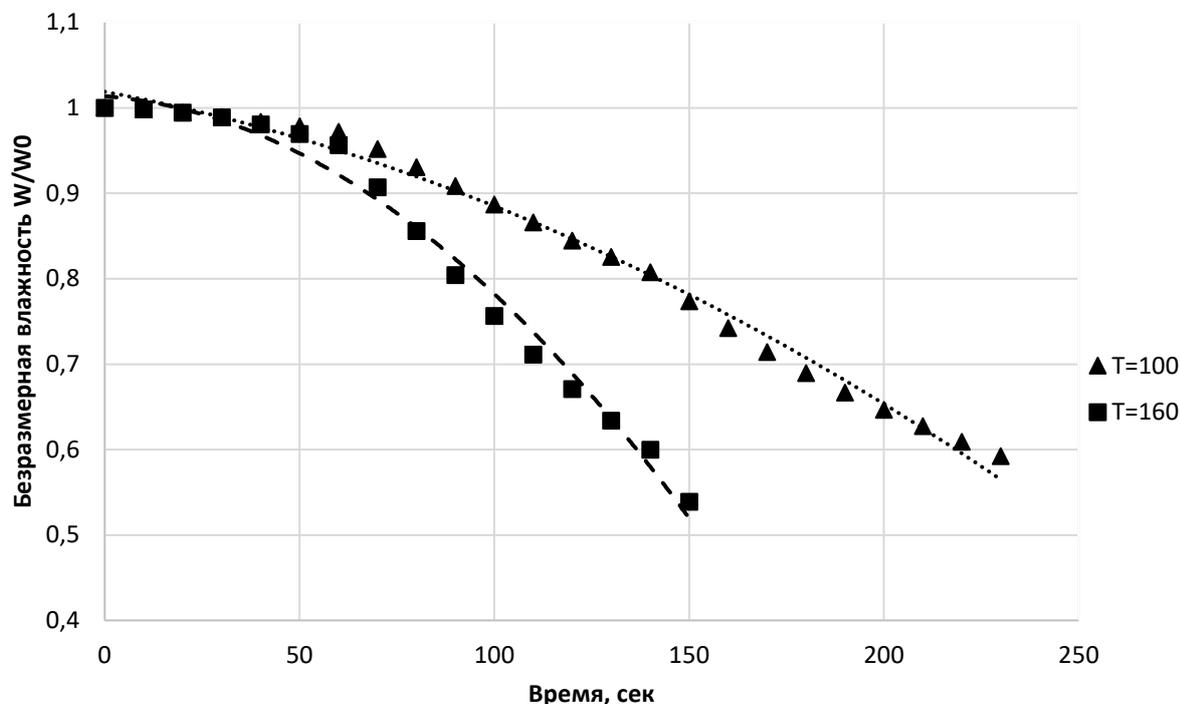


Рис. 2 – Кинетические кривые сушки зерна озимой пшеницы с начальной влажностью 17,5% при различных температурах:
пунктирные линии – регрессионная модель (1) с параметрами из таблицы 2

Результаты множественного регрессионного анализа для зерна с начальной влажностью 24% приведены в таблице 1, а для зерна с начальной влажностью 17,5% - в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты множественного регрессионного анализа кинетики влажности зерна озимой пшеницы с начальной влажностью 24%

Температура сушки, °С	Параметры модели (1)			Коэффициент детерминации
	a0	a1	a2	
100	1,01666	-0,000716	-0,000005	0,994
120	1,00642	-0,000076	-0,000016	0,997
140	1,00646	-0,000077	-0,000016	0,997
160	1,00609	0,000075	-0,000021	0,996

Таблица 2 – Результаты множественного регрессионного анализа кинетики влажности зерна озимой пшеницы с начальной влажностью 17,5%

Температура сушки, °С	Параметры модели (1)			Коэффициент детерминации
	a0	a1	a2	
100	1,018954	-0,000850	-0,000005	0,993
120	1,005621	-0,000185	-0,000013	0,994
140	1,010694	-0,000365	-0,000016	0,995
160	1,013766	0,000362	-0,000020	0,996

Обсуждение

Как видно из полученных значений в таблицах 1 и 2, для всех значений температуры сушки в интервале 100-160°C коэффициент детерминации имеет очень высокое значение 0,993-0,997, а значения критерия Фишера во всех экспериментах находились в интервале 9600-40900, что подтверждает статистическую значимость самой математической модели (1). Кроме того, в результате расчетов параметров модели (1) было установлено, что для всех значений температур и для двух значений начальной влажности (17,5% и 24%) все параметры модели (1) a_0 , a_1 и a_2 статистически значимы на уровне $p=0,05$. Все это является доказательством того, что найденная математическая модель

(1) со значениями параметров в таблицах 1 и 2 адекватно описывает экспериментальные данные по кинетике сушки зерна озимой пшеницы.

На рис.1 и рис.2 пунктирной линией показаны значения влажности зерна W/W_0 , вычисленные с помощью математической модели (1) и со значениями параметров a_0 , a_1 и a_2 из таблиц 1 и 2. Как видно, расчетные значения хорошо соответствуют реальным данным, что свидетельствует о хорошей аппроксимирующей способности найденной модели (1) и значений ее параметров a_0 , a_1 и a_2 , приведенных в таблице 1 и в таблице 2.

Для проверки прогнозных качеств найденной математической модели в качестве примера были выполнены расчеты текущей влажности зерна в процессе сушки для зерна с начальной влажностью $W_0=17,5\%$ при температуре сушки $T = 120^\circ\text{C}$ по выражению (1), которое для данных условий согласно значениям параметров в таблице 2 имеет следующий вид:

$$W / 17,5 = 1,005621 - 0,000185 * t - 0,000013 * t^2 \quad (2)$$

Результаты расчетов текущей влажности зерна $W, \%$ по выражению (2) средствами ПП Statistica 6.0 [12] представлены на рис.3 в сравнении с экспериментально измеренными значениями влажности зерна $W, \%$ вместе с 95% доверительными интервалами.

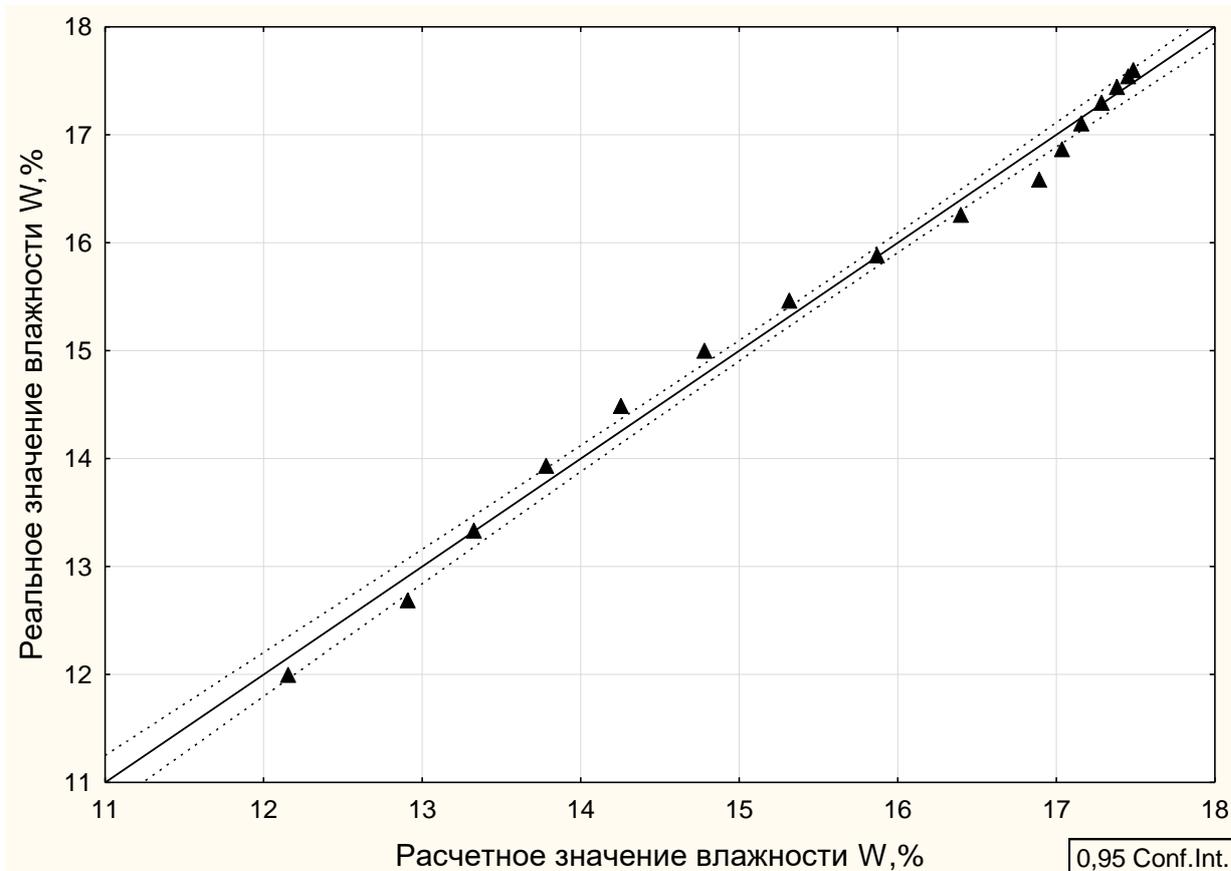


Рис. 3 – Корреляционное поле и линия регрессии с 95% -доверительным интервалом для расчетного и реального значений влажности зерна озимой пшеницы в процессе сушки при температуре 120°C

Из рисунка 3 ясно видно, что имеет место хорошее соответствие вычисленных значений влажности зерна с экспериментально измеренными значениями влажности зерна (см. линейную зависимость на рис.3) на уровне значимости 0,05 (95% -доверительный интервал).

Полученные математические модели (см. таблицы 1 и 2) могут быть использованы для вычисления времени сушки зерна озимой пшеницы от начальной влажности до конечной влажности $W_k = 14\%$, что позволит определять производительность установки при заданном объеме зерна.

Заключение

Выполнены экспериментальные исследования изменения влажности зерна озимой пшеницы во времени в процессе сушки при двух значениях начальной влажности (12% и 17,5%) и в диапазоне температур сушки (100°C - 160°C). С помощью множественного регрессионного анализа средствами ПП Statistica 6.0 найдена математическая модель для описания кинетики сушки зерна озимой пшеницы в виде трехпараметрической двухфакторной модели $W/W_0 = a_0 + a_1 * t + a_2 * t^2 + \varepsilon$, адекватность которой подтверждена высокими значениями коэффициентов детерминации и критерия Фишера. Определены параметры этой модели для всех исследованных режимов, которые оказались статистически значимы на уровне $p=0,05$. Проведено сравнение расчетных значений влажности зерна в различные моменты времени

с реальными значениями, в результате которого показано хорошее соответствие на уровне значимости 0,05 (95% - доверительный интервал).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. ГОСТ Р 55262-2012. Сушильные машины и установки сельскохозяйственного назначения. Методы испытаний. – Введ. 2014-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 127 с.
2. Станкевич Г. Н. Исследование кинетики сушки зерна амаранта / Г. Н. Станкевич, Н. А. Валентюк // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе : сборник научных статей Первых Международных Лыковских научных чтений, посвящённых 105-летию академика А.В. Лыкова, Москва, 22–23 сентября 2015 года. – Москва: ЗАО "Университетская книга", 2015. – С. 244-246.
3. Масалимов И. Х. Математическая модель сушки зерна ячменя инфракрасным нагревом в вакууме / И. Х. Масалимов, Х. Т. Каримов, В. А. Павленко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3(32). – С. 95-101.
4. Пахомов В. И. Регрессионная математическая модель двухэтапной комбинированной электротехнологии высокотемпературной конвективной сушки и озонозодушной обработки зерна / В. И. Пахомов, В. С. Газалов, К. Н. Буханцов // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 1. – С. 81-95.
5. Шурак А. А. Исследование влияния геометрических характеристик аппаратов с псевдооживленным слоем на технологические параметры процесса сушки / А. А. Шурак, А. А. Шагарова, Л. М. Мансур // Технологии нефти и газа. – 2020. – № 6 (131). – С. 50-53.
6. Рогачев А. Ф. Математическое моделирование процесса послеуборочной сушки зерна / А. Ф. Рогачев, Д. В. Шатырко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4(40). – С. 168-174.
7. Малин Н. И. Моделирование кинетики двухступенчатой прямоточной сушки зерна / Н. И. Малин // Евразийский союз ученых. – 2019. – № 12-5(69). – С. 11-16.
8. Дарманиян А. П. Научная значимость статистических методов анализа экспериментальных данных в системе послеузовского аграрного образования / А. П. Дарманиян, Н. М. Веселова. // Актуальные вопросы профессионального образования. – 2018. – № 3(12). – С.33-37.
9. Darmanyan A. P. Modeling potato yield statistics by using information technology for sustainable development / A. P. Darmanyan and S. I. Bogdanov // 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 965 012058. – [Electronic resource]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/965/1/012058> (accessed 06.03.2022).
10. Влагер весовой серии MS, MX, MF, ML. Руководство по эксплуатации. Технический паспорт. – [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/et7sD> (дата обращения 06.03.2022).
11. Инструкция по сушке продовольственного, кормового зерна, маслосемян и эксплуатации зерносушилок №9-3-82. – М.: ЦНИИТЭИ Мингаза СССР, 1982. – 61с.
12. Куприенко Н. В. Статистические методы изучения связей. Корреляционно-регрессионный анализ / Н. В. Куприенко, О. А. Пономарева, Д. В. Тихонов. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2008. – 118 с.

Список литературы на английском языке/ References in English

1. GOST R 55262-2012. Sushilnyye mashiny i ustanovki selskokhozyaystvennogo naznacheniya. [Drying machines and installations for agricultural purposes. Test methods]. – Input. 2014-01-01. – М.: Publishing house of standards, 2015. – 127 p. [in Russian]
2. Stankevich G. N. Issledovaniye kinetiki sushki zerna amaranta [Study of the kinetics of drying amaranth grain]. / G. N. Stankevich, N. A. Valentyuk // Aktualnyye problemy sushki i termovlazhnostnoy obrabotki materialov v razlichnykh otraslyakh promyshlennosti i agropromyshlennom komplekse : sbornik nauchnykh statey Pervykh Mezhdunarodnykh Lykovskikh nauchnykh chteniy. posvyashchennykh 105-letiyu akademika A.V. Lykova. Moskva. 22–23 sentyabrya 2015 goda. [Actual problems of drying and thermal and moisture treatment of materials in various industries and agro-industrial complex: a collection of scientific articles of the First International Lykovsky Scientific Readings dedicated to the 105th anniversary of Academician A.V. Lykova, Moscow, September 22–23, 2015. – Moscow: CJSC "Universitetskaya kniga", 2015]. – pp. 244-246. [in Russian]
3. Masalimov I. Kh. Matematicheskaya model sushki zerna yachmenya infrakrasnym nagrevom v vakuume [Mathematical model of barley grain drying by infrared heating in vacuum]. / I. Kh. Masalimov, Kh. T. Karimov, V. A. Pavlenko // Innovatsii v selskom khozyaystve [Innovations in agriculture]. – 2019. – No. 3 (32). – pp. 95-101. [in Russian]
4. Pakhomov V. I. Regressionnaya matematicheskaya model dvukhetapnoy kombinirovannoy elektrotekhnologii vysokotemperaturnoy konvektivnoy sushki i ozonovozdushnoy obrabotki zerna [Regression mathematical model of two-stage combined electrotechnology of high-temperature convective drying and ozone-air grain processing]. / V. I. Pakhomov, V. S. Gazalov, K. N. Bukhantsov / Traktory i selkhoz mashiny [Tractors and agricultural machines]. – 2019. – No. 1. – P. 81-95. [in Russian]
5. Shurak A. A. Issledovaniye vliyaniya geometricheskikh kharakteristik apparatov s psevdoozhivlyennym sloyem na tekhnologicheskiye parametry protsessya sushki [Investigation of the influence of the geometric characteristics of apparatuses with a fluidized bed on the technological parameters of the drying process] / A. A. Shurak, A. A. Shagarova, L. M. Mansur // Tekhnologii nefi i gaza [Technologies of oil and gas]. – 2020. – No. 6 (131). – pp. 50-53. [in Russian]
6. Rogachev A. F. Matematicheskoye modelirovaniye protsessya posleuborochnoy sushki zerna [Mathematical modeling of the process of post-harvest drying of grain]. / A. F. Rogachev, D. V. Shatyрко // Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye [Proceedings of the Nizhnevolsky agro-

university complex: Science and higher professional education]. – 2015. – No. 4 (40). – pp. 168-174. [in Russian]

7. Malin N. I. Modelirovaniye kinetiki dvukhstupenchatoy pryamotochnoy sushki zerna [Modeling the kinetics of two-stage direct-flow drying of grain]. / N. I. Malin // Evraziyskiy soyuz uchenykh [Eurasian Union of Scientists]. – 2019. – No. 12-5 (69). – P. 11-16. [in Russian]

8. Darmanyanyan A. P. Nauchnaya znachimost statisticheskikh metodov analiza eksperimentalnykh dannykh v sisteme poslevuzovskogo agrarnogo obrazovaniya [Scientific significance of statistical methods for the analysis of experimental data in the system of postgraduate agricultural education]. / A. P. Darmanyanyan, N. M. Veselov // Aktualnyye voprosy professionalnogo obrazovaniya [Topical issues of vocational education]. – 2018. – No. 3 (12). – pp. 33-37. [in Russian]

9. Darmanyanyan A. P. Modeling potato yield statistics by using information technology for sustainable development / A. P. Darmanyanyan and S. I. Bogdanov // 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 965 012058. – [Electronic resource]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/965/1/012058> (accessed 06.03.2022).

10. Moisture meter for weight series MS, MX, MF, ML. Manual. Technical certificate. – URL: <https://clck.ru/et7sD> (accessed 03/06/2022). [in Russian]

11. Instructions for drying food, feed grains, oilseeds and operation of grain dryers No. 9-3-82. – M.: TsNIITEI Mingaz USSR, 1982. – 61p. [in Russian]

12. Kuprienko N.V. Statisticheskiye metody izucheniya svyazey. Korrelyatsionno-regressionnyy analiz [Statistical methods for studying relationships. Correlation-regression analysis]. / N. V. Kuprienko, O. A. Ponomareva, D. V. Tikhonov // St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic. un-ta, – 2008. – 118 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.009>

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ОБОГАЩЕННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ

Научная статья

Елисева Л.Г.¹, Белкин Ю.Д.², Сими́на Д.В.³, Осман Али⁴, Молодкина П.Г.⁵*, Сантурян Т.А.⁶

¹ ORCID: 0000-0003-2715-9989;

² ORCID: 0000-0002-4547-8484;

⁴ ORCID: 0000-0002-8309-1854;

⁵ ORCID: 0000-0003-3394-0835;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (polina-molodkina[at]mail.ru)

Аннотация

Функциональные ингредиенты пищевых продуктов влияют на формирование иммунного статуса и активизацию метаболизма. Полноценное питание способствует формированию адаптивного иммунного статуса и профилактике COVID-19. Целью данной работы являлось изучение эффективности производства продукции для массового потребления - майонезных соусов, обогащенных физиологически активными ингредиентами льняного, оливкового масла и микрозелени. В работе представлены результаты исследования 15 видов микрозелени, которые позволяют моделировать вкусо-ароматические свойства майонезных соусов и их пищевую ценность. Комплексное обогащение продукции уникальным многокомпонентным составом функциональных нутриентов льняного, оливкового масла и микрозелени позволяет проектировать рецептуры пищевых продуктов с высоким уровнем иммуномодулирующих свойств.

Ключевые слова: иммунитет, функциональные ингредиенты, антиоксиданты, микрозелень.

NEW TRAJECTORIES IN THE DEVELOPMENT OF FORTIFIED FOODS FOR A HEALTHY DIET

Research article

Eliseeva L.G.¹, Belkin Yu.D.², Simina D.V.³, Osman Ali⁴, Molodkina P.G.⁵*, Santuryan T.A.⁶

¹ ORCID: 0000-0003-2715-9989;

² ORCID: 0000-0002-4547-8484;

³ ORCID: 0000-0002-8309-1854;

⁵ ORCID: 0000-0003-3394-0835;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

* Corresponding author (polina-molodkina[at]mail.ru)

Abstract

Functional ingredients of food products affect the formation of immune status and activation of metabolism. Proper nutrition contributes to the formation of adaptive immune status and prevention of COVID-19. The aim of this study was to examine the efficiency of production of products for mass consumption such mayonnaise sauces enriched with physiologically active ingredients of linseed, olive oil, and micro-greens. The paper presents the results of a study of 15 types of micro-greens, which allow for modeling the flavor and aromatic properties of mayonnaise sauces and their nutritional value. The complex enrichment of products with a unique multicomponent composition of functional nutrients of linseed, olive oil, and microgreens allows for designing food formulations with a high level of immunomodulatory properties.

Keywords: immunity, functional ingredients, antioxidants, micro-greens.

Введение

Международные и национальные современные исследования указывают на подтвержденную взаимосвязь между рационом питания, иммунитетом и восприимчивостью к инфекционным и алиментарным заболеваниям. Дефицит энергии, белка и эссенциальных микроэлементов в питании может ослабить иммунную систему и устойчивость к инфекции. Функциональные ингредиенты пищевых продуктов влияют на активизацию иммунного статуса, активизируют метаболизм организма, экспрессию специфических генов, синтез сигнальных молекул [1]. Анализ статистики заболеваний коронавирусом позволил установить зависимость частоты и тяжести заболеваний от структуры питания и содержания функциональных ингредиентов [2]. В настоящее время проводится большое количество исследований по изучению влияния структуры питания на формирование адаптивного иммунитета [3]. В период пандемии специалисты ряда стран исследовали взаимосвязь между наличием определенных витаминов в рационе человека и устойчивости его иммунитета к COVID-19. В ходе исследований им удалось выявить средний уровень витамина D у населения 20 европейских стран, а затем сравнили данные с долей смертей от COVID-19. Оказалось, что, чем ниже средний уровень витамина D по стране, тем выше смертность. К тому же установлено, что нехватка витамина D в организме на 15 % повышает вероятность развития тяжелой формы коронавирусной инфекции [4]. Большую роль в формировании иммунитета играют витамины E, C и K.

Также в ходе ряда исследований выяснилось, что многие антиоксидантные пищевые добавки, такие как витамин C, глутатион, цинк, органические соединения серы и ботанические препараты, могут ослабить воспалительные легочные заболевания. Установлено, что многие функциональные пищевые ингредиенты, лекарственные фитохимические вещества, в т.ч. хлорофилл и каротиноиды, благотворно влияют на защиту организма от развития вирусных заболеваний.

Для обогащения пищевых продуктов следует использовать те микронутриенты, дефицит которых реально имеет место, достаточно широко распространен и безопасен для здоровья. Это прежде всего витамины C, E, D, K, группы B,

фолиевая кислота, каротин, а из минеральных веществ — это йод, железо и кальций. Обогащать витаминами и минеральными веществами следует, прежде всего, продукты массового потребления, доступные для всех групп населения, детского и взрослого, и регулярно используемые в повседневном питании. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами не должно ухудшать потребительские свойства этих продуктов, уменьшать содержание и усвояемость других содержащихся в них пищевых веществ, существенно изменять вкус, аромат, свежесть продуктов, сокращать срок их хранения. При обогащении пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами необходимо учитывать возможность химического взаимодействия обогащающих добавок между собой и с компонентами обогащаемого продукта и выбирать такие их сочетания, формы, способы и стадии внесения, которые обеспечивают максимальную сохранность продукта в процессе производства и хранения. Во всем мире в пищевые продукты вводятся безвредные добавки для обеспечения цвета, сохраняемости, сбалансированности химических компонентов и придания различных полезных свойств [5]. В последнее время отечественные и зарубежные ученые разрабатывают продукты для здорового питания, обеспечивающие профилактику распространенных заболеваний, особенно это важно в экологически неблагоприятных регионах [6].

В настоящее время большое внимание нутрициологов уделяется расширению ассортимента зеленых культур в рационе питания населения, как важнейших источников витаминно-минерального комплекса, антиоксидантов, пребиотиков и пищевых волокон. При этом зеленые культуры содержат высокое содержание функциональных и биологически активных соединений. Сторонники здорового питания регулярно употребляют зеленые культуры в своем рационе питания. Новым трендом в производстве зеленых овощей является микрозелень, которая содержит в 2-3 раза больше физиологически активных веществ, чем традиционные растения. Именно поэтому в настоящее время микрозелень приобретает все большую популярность в международной практике здорового питания. Микрозелень богата витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами, биофлавоноидами, антиоксидантами. Микрозелень относится к «функциональным продуктам питания», которые способствуют укреплению иммунитета [7]. В этой связи для обогащения пищевых продуктов рекомендовано использовать культуры микрозелени, соответствующие по органолептическим показателям и пищевой ценности той группе продуктов, обогащение которой рекомендуется нутрициологами. Майонезные соусы пользуются высоким спросом у населения, но они не могут быть отнесены к продуктам для здорового питания, т.к. содержат большое количество жиров и мало функциональных ингредиентов.

Целью данной работы являлось изучение эффективности производства продукции для массового потребления – майонезных соусов, обогащенных физиологически активными ингредиентами микрозелени.

Основные результаты

Были выращены в условиях фитотрона городского типа 15 видов культур микрозелени. Салат листовой Дубчек М, салат Руккола, Редис санго, Редис Ред, Амарант Ред, Базилик зеленый, Базилик Ред, Дайкон дубинушка, Капуста Японская - Мизуна Гриин, Капуста Японская - Мизуна Ред, Горох, капуста Китайская -Пак чой, Кресс-салат, Кале – Рашан Ред. Микрозелень культивировали на твердой питательной среде на пластинках субстрата из джута (15 x 60 x 7 см). Основной питательного раствора для всех образцов служил минеральный питательный раствор для выращивания гидропонных зеленых культур фирмы "Райк Цваан" (Голландия). Выращивание вели при стандартных температурно-влажностных условиях, оптимальном уровне освещения и аэрации. Время выращивания составляет 15 дней. Проведен анализ пищевой ценности отдельных видов микрозелени. Для анализа содержания минеральных веществ, витаминов, антиоксидантов, хлорофилла и каротиноидов были использованы стандартные общепринятые методы анализа. Установлено, что микрозелень превосходит зрелые листья у аналогичных культур по содержанию микроэлементов, особенно Zn, Fe, Cu, и Mn, Mg и P, которые отнесены к группе дефицитных элементов в структуре питания населения России. Микрозелень содержит почти в 2 раза больше витамина С [8]. Витамин С (аскорбиновая кислота) стимулирует окислительные процессы в организме, способствует формированию иммунитета, активизирует различные ферменты, участвует в нормализации обмена углеводов, улучшает всасывание глюкозы в кишечнике и отложение углеводов в печени и мышцах, повышает антиоксидантную функцию печени, тормозит развитие атеросклероза, повышает выведение холестерина через кишечник и понижает его уровень в крови, участвует в кроветворении. Суммарное содержание антиоксидантов в микрозелени в 1,8-2,4 раза выше, чем в зрелых культурах. Микрозелень содержит большое количество хлорофилла и каротиноидов, являющихся сильными антиоксидантами. Наличие «мягких» пищевых волокон способствуют улучшению перистальтики кишечника, активизирует жизнедеятельность полезной микрофлоры кишечника. Микрозелень богата активными ферментами, которые активизируют и нормализуют обмен веществ и усвоение пищи [9].

Для создания обогащенного майонезного соуса были изучены свойства различных видов растительных масел. Было выяснено, что одними из самых богатых жирорастворимыми витаминами, полиненасыщенными жирными кислотами ω -3 и ω -6 и антиоксидантами являются оливковое и льняное масла. Однако, при проведении органолептической оценки была выявлена высокая горечь во вкусе данных видов масла. В связи с этим было принято решение создавать продукт на основе подсолнечного масла с добавлением оливкового и льняного масел.

Полезные свойства льняного масла обусловлены, прежде всего, содержанием незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), в частности, триглицеридов линоленовой кислоты. Также масло льна содержит значительное количество токоферолов (витамин Е) – мощных антиоксидантов, фолиевой кислоты (витамин B₉) и эстрогеноподобных фитогормонов (лигнанов), содержит витамины А и D [10].

В основной состав майонеза вошли следующие ингредиенты: масло подсолнечное, яйцо, масло оливковое, горчица, масло льняное, лимонный сок, соль.

На втором этапе создания соуса были выбраны виды микрозелени, имевшие наивысшие показатели по органолептическим и физико-химическим свойствам. Были использованы: амарант, пак-чой, базилик, редис, свекла, шнитт-лук. Также для увеличения процента содержания витамина D в итоговом продукте было использовано авокадо.

В процессе создания обогащенного майонезного соуса была проведена органолептическая оценка, на основе которой были выбраны три самых удачных сочетания майонезного соуса и различных видов культур микрорезлени, рецептурный состав майонезных соусов представлен в таблице 1. Изучено 3 варианта рецептур майонезных соусов:

1. Майонезный соус (10 г), авокадо, пак-чой, базилик, шнитт-лук, амарант;
2. Майонезный соус (10 г), авокадо, свекла, редис, амарант;
3. Майонезный соус (10 г), пак-чой, базилик, шнитт-лук, амарант.

Таблица 1 – Рецептурный состав обогащенных майонезных соусов, г/100г

Ингредиент	Содержание в соусе №1 г/100г	Содержание в соусе №2 г/100г	Содержание в соусе №3 г/100г
Авокадо	30	50	0
Редис	0	9	0
Пак-чой	5	0	7
Базилик	7	0	8
Шнитт-лук	6	0	7
Свекла	0	7	0
Амарант	11	9	12

На рисунке 1 представлена профилограмма органолептической оценки представленных обогащенных майонезных соусов.

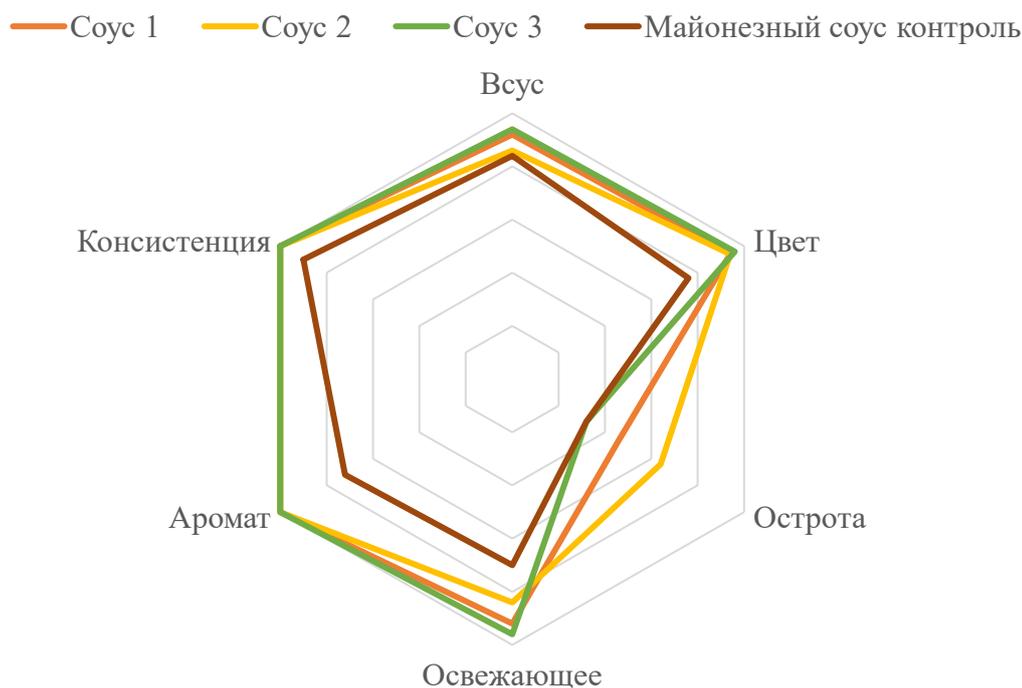


Рис. 1 – Профилограмма органолептических показателей обогащенных майонезных соусов

По органолептическим показателям можно выделить майонезные соусы 1 и 3. Они отличаются сбалансированным вкусом и приятным послевкусием, со слабым оттенком горечи во вкусе, который придает оливковое масло. Важно отметить, что именно органолептические свойства продукта – важный критерий для массового потребителя. Анализ содержания биологически активных веществ показал увеличение содержания витаминов С, β-каротина, витамина К, ω-3 жирных кислот и суммы антиоксидантов.

Таблица 2 – Содержание витаминов в трех видах обогащенных майонезных соусов

Рецептурный ингредиент	Витамин С, мг/100г			Витамин Е, мг/100г			Витамин К, мг/100г			Витамин D, мкг/100г		
	Вариант рецептуры											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Подсолнечное масло	0			21,12			2,6			0		
Оливковое масло	0			1,57			7,82			0,059		
Льняное масло	0			0,02			0,39			0,409		
Яйцо	0			0,16			0,08			0,572		
Амарант	15,8	12,9	17,3	0,22	0,18	0,24	0,6	0,5	0,6	0	0	0
Бasilik	6,2	-	7,1	0,07	-	0,08	7,5	-	8,5	0	-	0
Пак-чой	2,3	-	3,2	0,04	-	0,01	0,2	-	0,2	0	-	0
Редис	-	8,4	-	-	0,12	-	-	9,1	-	-	-	-
Шнитт-лук	3,5	-	4,1	0	-	0	12,8	-	14,9	0	-	0
Лимонный сок	5			0,02			0			0		
Авокадо	3	5	-	0,62	1,03	-	6,3	10,5	-	3	5	-
Итого	31,3	26,8	32,2	23,8	24,2	23,2	38,1	30,9	35,1	4,0	6,0	1

На рисунке 2 представлены данные, характеризующие степень обогащения майонезных соусов витаминами, играющими важную роль в формировании адаптивной устойчивости организма к инфекционным заболеваниям.

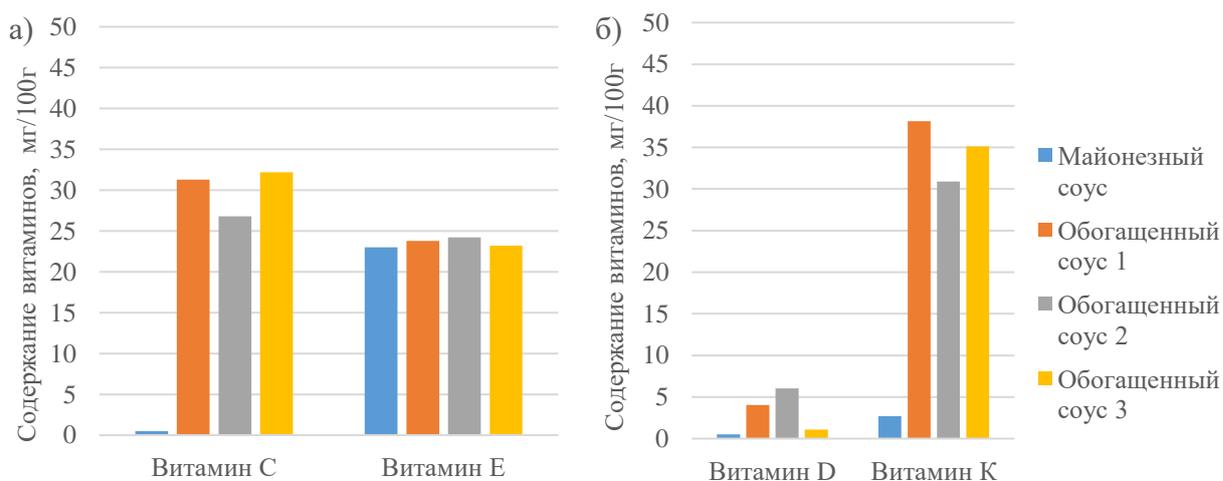


Рис. 2 – Содержание витаминов в обогащенных майонезных соусах:
а) С и Е ; б) D и К

Сравнивая исследуемые обогащенные образцы майонезного соуса, можно сделать вывод, что обогащенный продукт превосходит необогащенный майонезный соус почти по всем показателям. Оптимальное сочетание органолептических показателей и содержания биологически активных веществ установлено в варианте при обогащении базового состава майонезного соуса культурами гомогенизированной микрозелени свеклы, редиса, амаранта с дополнительным внесением пасты из авокадо. Этот вариант отличался увеличением содержания витамина С, витамина К. Микрозелень придает приятный пикантный острый вкус, нежный оттенок салатного цвета, свежий нежный аромат.

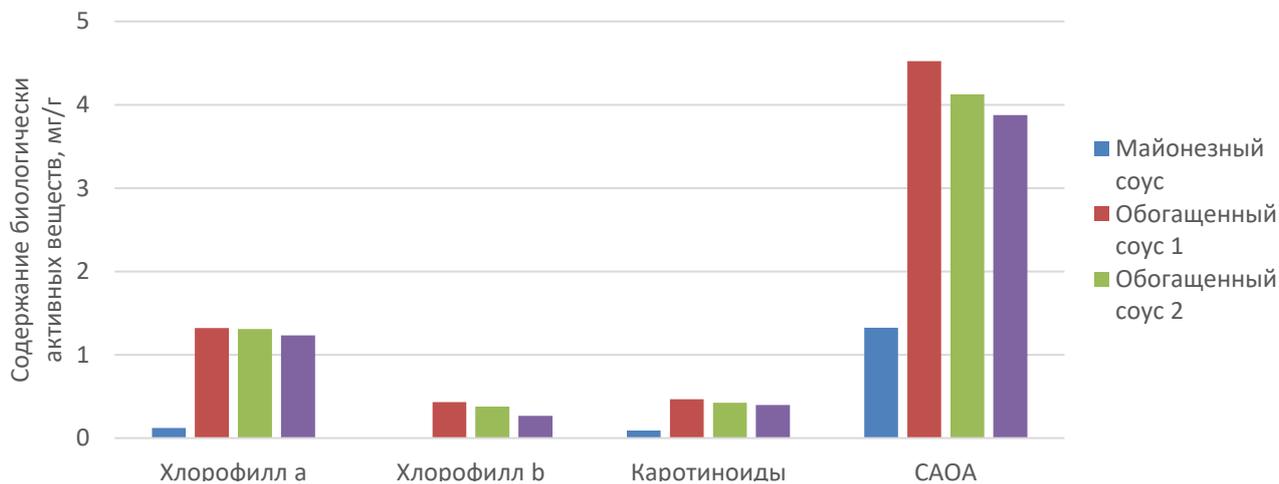


Рис. 3 – Содержание биологически активных веществ в обогащенных майонезных соусах

Комплексным показателем, характеризующим степень обогащения продукции биологически активными веществами, является суммарное содержание антиоксидантов. Учитывая, что обогащение проводится с использованием функциональных ингредиентов микрозелени, нужно учитывать обогащение продукции хлорофиллом и каротиноидами, которые являются активными иммуномодуляторами в организме человека. На рисунке 3 представлены данные, характеризующие суммарное содержание антиоксидантов (САОА), хлорофилла и каротиноидов в обогащенных майонезных соусах.

Анализируя полученные результаты, можно сделать заключение, что максимальное обеспечение гармоничного вкуса, аромата и содержания биологически активных веществ достигается при использовании рецептуры №1, содержащей пасту свежего авокадо и гомогенизированную микрозелень культур пак-чоя, базилика, шнитт-лука и амаранта. Этот вид майонезного соуса может использоваться для укрепления общего иммунитета. Наиболее богатым майонезным соусом по содержанию витамина D является соус, содержащий пасту свежего авокадо и микрозелени свеклы, редиса и амаранта, поэтому этот майонезный соус может быть использован для обогащения рациона питания дефицитным витамином D.

Заключение

Микрозелень содержит важные элементы для поддержания иммунитета населения и обогащения рациона питания биологически активными веществами, необходимыми для обеспечения здорового питания. Сравнительная оценка химического состава и органолептических характеристик широкого ассортимента культур микрозелени позволяет моделировать вкусо-ароматические свойства майонезных соусов и их пищевую ценность. Комплексное обогащение широкого ассортимента пищевых продуктов уникальным многокомпонентным составом функциональных нутриентов микрозелени позволяет проектировать рецептуры с высоким уровнем иммуномодулирующих свойств пищевых продуктов. Разработана и исследована рецептура майонезного соуса на основе льняного и оливкового масла, богатых полиненасыщенными жирными кислотами, в т.ч. ω -3 и ω -6, с добавлением комплексных гомогенных препаратов микрозелени. Были проведены физико-химические исследования полученного обогащенного продукта и подтверждено повышение в них содержания витаминов С, Е, К, D, антиоксидантов, физиологических соединений хлорофилла и каротиноидов. Органолептическая оценка новых продуктов установила приемлемость полученных образцов и выявлены наиболее удачные по своим органолептическим и физико-химическим показателям рецептуры обогащенного майонезного соуса. Добавление микрозелени в рецептуру майонезного соуса существенно улучшает его потребительские свойства и делает майонезный соус обогащенным продуктом, который сможет играть важную роль в рационе здорового питания в период пандемии COVID-19 и способствовать повышению адаптивного иммунитета.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Klaus W. Food science and COVID-19 Lange 2020 / W. Klaus. – 2021. – Vol. 10, Issue 1. – Pp. 1-5.
2. Влияние COVID-19 на продовольственную безопасность и питание: разработка эффективных политических мер по борьбе с пандемией и неполноценным питанием. Доклад комитета по всемирной продовольственной безопасности ООН [Электронный ресурс]. – Рим сентябрь, 2020.- <http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/ru>: (дата обращения 21.09.2021)
3. Сергеев В. Н. Питание при COVID-19. Лекция для специалистов отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России. - <https://www.lvrach.ru> (дата обращения 21.09.2021)
4. Карамнова Н. С. COVID-19 и питание: новые акценты, прежние приоритеты (обзор рекомендаций) / Н. С. Карамнова, О. М. Драпкина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2020. – №19(2576). – С. 327-330.
5. Роль витамина D во время пандемии COVID-19 / А. Т. Шакирова, А. А. Койбагарова, А. С. Кожанов и др. // Научные основы здорового питания. – М. : ИД «Панорама», 2010.
6. Фармонов, Ж. Б. Использование растительных отходов в производстве майонезных соусов [Электронный ресурс] / Ж. Б. Фармонов, Ф. У. Суванова, М. И. Холбекова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2019. – № 4. – С. 68-72. – URL: <https://moluch.ru/archive/242/55905/> (дата обращения: 11.11.2021)

7. Kheirbeik Comparing analysis of nutritional profile between microgreen and mature lettuce (*Lactuca sativa*) grown under phytotron (ISR 0.2) conditions / A. J. Othman, L. G. Eliseeva, V. N. Zelenkov и др. // Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. – 2020. – vol. 82. no. 2. – pp. 48-53.
8. Quality Management of Green Vegetables Grown in Closed Anrbio Technology Systems of Urban Phytotron Type / L.G. Eliseeva, A. J. Osman, M. I. Ivanova, I et al. // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Vol. 29. N3. – P. 1383-1394.
9. The study of a silatran-containing preparation on improving the consumer properties of lettuce (*Lactuca sativa* var. Dubachek MC), grown hydrohonestly in the phytotron ISR 0.1 / A. J. Othman, L. G. Eliseeva, V. N. Zelenkov et al. // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2020. – Vol. 82. № 1 (83) . – P. 96-102
10. Изучение биохимического состава растительного сырья отечественной и зарубежной селекции / Т. Ю. Гумеров, Э. Ф. Хабибуллина, Р. Р. Мустафин и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. № 20. – С.199-202.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Klaus W. Food science and COVID-19 Lange 2020 / W. Klaus. – 2021. – Vol. 10, Issue 1. – Pp. 1-5.
2. Vlijanje COVID-19 na prodovol'stvennuju bezopasnost' i pitanie: razrabotka jeffektivnyh politicheskikh mer po bor'be s pandemiej i nepolnocennym pitaniem. Doklad komiteta po vsemirnoj prodovol'stvennoj bezopasnosti OON. [Impacts of COVID-19 on food security and nutrition: developing effective policy responses to address the hunger and malnutrition pandemic. Report of the Committee on World Food Security of the United Nations.] [Electronic resource]. – Rome, September, 2020. – URL: <http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/ru> (accessed 21.09.2021) [in Russian]
3. Sergeev V. N. Pitanie pri COVID-19. Lekcija dlja specialistov otdela somaticheskoy reabilitacii, reproduktivnogo zdorov'ja i aktivnogo dolgoletija FGBU «NMIC RK» Minzdrava Rossii [Nutrition With COVID-19. Lecture for Specialists of the Department of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity of the Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology” of the Ministry of Health of the Russian Federation]. [Electronic resource] / V. N. Sergeev // URL: <https://www.lvrach.ru> (accessed 21.09.2021) [in Russian]
4. Karamnova N.S. COVID-19 i pitanie: novye akcenty, prezhnje prioritety (obzor rekomendacij) [COVID-19 and Nutrition: New Aspects, Old Priorities (Review of Recommendations)] / N. S. Karamnova, O. M. Drapkina // Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika [Cardiovascular Therapy and Prevention]. – 2020. – №19(2576). – pp. 327-330 [in Russian]
5. Rol' vitamina D vo vremja pandemii COVID-19 [The Role of Vitamin D During the COVID-19 Pandemic] / A. T. Shakirova, A. A. Kojbagarova, A. S. Kozhanov et al. // Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika [Cardiovascular therapy and prevention]. – 2020. – №19(2576). – pp. 327-330. [in Russian]
6. Farmonov, Zh. B. Ispol'zovanie rastitel'nyh othodov v proizvodstve majoneznyh sousov [Use of Plant Waste in the Production of Mayonnaise Sauces] [Electronic resource] / Zh. B. Farmonov, F. U. Suvanova, M. I. Holbekova. — Direct text // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. – 2019. – № 4. – pp. 68-72. – URL: <https://moluch.ru/archive/242/55905/> (accessed: 11.11.2021) [in Russian]
7. Kheirbeik Comparing analysis of nutritional profile between microgreen and mature lettuce (*Lactuca sativa*) grown under phytotron (ISR 0.2) conditions / A. J. Othman, L. G. Eliseeva, V. N. Zelenkov et al. // Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. – 2020. – vol. 82. no. 2. – pp. 48-53.
8. Quality Management of Green Vegetables Grown in Closed Anrbio Technology Systems of Urban Phytotron Type / L.G. Eliseeva, A. J. Osman, M. I. Ivanova, I et al. // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Vol. 29. N3. – P. 1383-1394.
9. The study of a silatran-containing preparation on improving the consumer properties of lettuce (*Lactuca sativa* var. Dubachek MC), grown hydrohonestly in the phytotron ISR 0.1 / A. J. Othman, L. G. Eliseeva, V. N. Zelenkov et al. // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020. Vol. 82. No. 1 (83). Pp. 96-102.
10. Izuchenie biохимического состава растительного syr'ja otechestvennoj i zarubezhnoj selekcii [Study of the Biochemical Composition of Plant Raw Materials of Domestic and Foreign Breeding] / T. Ju. Gumerov, Je. F. Habibullina, R. R. Mustafin et al. // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]. – 2013. – Vol. № 20. – pp. 199-202. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.010>

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ БОРТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Обзорная статья

Завойкин В.А.*

ORCID: 0000-0002-2624-9280,

Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ», Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (vlad.zavoykin[at]nami.ru)

Аннотация

В работе систематизированы и обобщены сведения по имеющимся международным стандартам с целью реализации глобальной задачи по унификации диагностических процедур для широкой номенклатуры автомобильной техники. Рассмотрены принципы построения бортовой диагностики, отвечающей всемирным (глобальным) техническим Правилам (*GTR №5*) по бортовой диагностике колесных транспортных средств. Описаны требования, предъявляемые к линии связи, диагностическому разъему, формату кода неисправностей, функции протокола унифицированных диагностических сервисов *UDS (ISO 14229)* и их служб прикладного уровня. Определены основные функции и требования, предъявляемые разработчикам со стороны группы стандартов расширенных диагностических сервисов в рамках реализации современного диагностического протокола *UDS* при построении диагностической системы для отечественных автотранспортных средств различного назначения. Даны рекомендации по совершенствованию и расширению диагностических функций для перспективных отечественных разработок. Выполненный анализ позволяет наметить актуальные направления при реализации принципиально нового направления в бортовой диагностике в РФ, способствуя повышению конкурентоспособности отечественных разработок в данной области.

Ключевые слова: бортовая диагностика, автомобильная диагностика, унифицированные диагностические сервисы.

TECHNICAL AND LEGISLATIVE ASPECTS OF AUTOMOTIVE ON- BOARD DIAGNOSTIC SYSTEMS

Review article

Zavoykin V.A.*

ORCID: 0000-0002-2624-9280,

Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute (FSUE “NAMI”), Moscow, Russia

* Corresponding author (vlad.zavoykin[at]nami.ru)

Abstract

Information about available international standards has been structured and summarized in the present work in order to implement a global task of unifying diagnostic procedures for a wide range of automotive vehicles. We have considered working principles of on-board diagnostics and its compliance with world (global) technical Regulations (*GTR No. 5*) applied for on-board diagnostics of wheeled vehicles. Requirements concerning the communication line, diagnostic connector, the format of diagnostic trouble code, functions of *UDS (unified diagnostic services)* protocol and their application-level services have been described in the work. We have defined the main functions and requirements demanded to be fulfilled by the developers to comply with a number of standards for extended diagnostic services within the framework of implementation of modern *UDS* diagnostic protocol when designing a diagnostic system for domestic automotive vehicles of multi-purpose use. Recommendations for improving and expanding diagnostic functions for promising domestic developments have been given in the present work. The conducted research and analysis allows us to outline up-to-date approaches for implementation of a fundamentally new direction in on-board diagnostics systems in the RF with the aim to increase market competitiveness of domestic developments in this area.

Key words: OBD, On Board Diagnostics, automotive diagnostics, *UDS*, Unified Diagnostic Services.

Введение

Важной задачей при создании систем диагностики для отечественных автомобилей является анализ и обобщение имеющегося мирового опыта по построению и реализации таких систем. Проведя анализ обзоров отечественной литературы в сфере автомобильных систем бортовой диагностики, замечено, что авторы [1] описывают систему диагностики в целом, с подробным описанием её структуры. И рассматривают протокол гармонизированных систем бортовой диагностики. А автор [2] описывает бортовую информационно-управляемую систему, знакомя с преимуществами CAN-шины, как физической среды, но не определённых стандартов. Авторы [3] делают упор на систему диагностики грузовых автомобилей, объясняя общие понятия о бортовой диагностике транспортных средств (ТС), затрагивая основные направления стандартизации в области диагностики, широко освещая модель данных *ODX*. Анализируя зарубежную литературу можно выделить авторов [4], которые проводят глобальный обзор ключевых понятий диагностической системы, работающей по *OBD* протоколу. Исходя из проведённого анализа был сделан вывод о необходимости написания данного обзора в связи с актуальностью темы и отсутствия в мировой практике подобных обзоров. А существующие источники информации требуют дополнений и уточнений. Цель данной работы состоит в выполнении аналитического обзора основных этапов развития систем бортовой диагностики, определяющих их особенности нормативных документов, рассмотрении содержания современного диагностического протокола *UDS* в рамках его реализации при построении диагностической системы отечественных ТС с целью её унификации для широкой номенклатуры транспортных средств, выработка рекомендаций по расширению диагностических функций для отечественных перспективных разработок.

Развитие бортовых диагностических систем “*OBD*” на автомобильной технике началось в 80-х годах прошлого века. В результате у автопроизводителей появились оригинальные и несочетаемые средства диагностики. Революция в данной области произошла в 1994 году, когда в США были сформулированы требования *OBD II*. Основная задача требований *OBD II* - недопущение бесконтрольной эксплуатации автомобиля с превышением норм на выброс вредных веществ, позволившие унифицировать диагностические процедуры для широкой номенклатуры автомобильной техники. Реализации данной задачи привели к созданию всемирно-гармонизированной системы бортовой диагностики (*WWH-OBD*), отвечающей сформулированным в 2006 году в рамках ООН глобальными техническими Правилами (*GTR №5*) по бортовой диагностике колесных ТС [1], [3], [4].

Первым стандартом на линию связи между электронным блоком управления (ЭБУ) и внешним диагностическим оборудованием стал *SAE J1850*, принятый 01.11.1988г., предусматривал два варианта линии связи: однопроводную при скорости обмена информацией 10,4 кб/с и уровне сигнала 5-20В, а также двухпроводную при скорости 41,4 кб/с и уровне сигнала 5В [5]. Содержание передаваемой диагностической информации данным стандартом не регламентировалось. А в 1989 году, принят международный стандарт *ISO 9141*, предусматривающий однопроводную линию передачи информации («*K*» - линия) при скорости 10,4 кб/с и уровне сигнала 12В и вторую линию («*L*»-линия) для передачи дискретных команд, используемая для «запроса» диагностики со стороны внешнего оборудования [6]. В 1988 году был принят стандарт *SAE J1930* (аналог *ISO 15031-2* от 20.08.2010г), регламентирующий использование технической терминологии в области бортовой диагностики [7].

В 1991-1992гг. впервые были описаны требования к:

- формату и наименованию диагностических кодов, стандарт *SAE J2012* в последняя редакция 01.02.2016 г[1];
- универсальному диагностическому разъему, стандарт *SAE J1962* (международный аналог *ISO 15031-3* от 15.04.2016г) [1], [8].
- универсальному диагностическому оборудованию, стандарт *SAE J1978* (аналог *ISO 15031-4* в последней редакции от 05.02.2014г) [1], [9].
- содержанию диагностических процедур (сервисов), стандарт *SAE J1979* (международный аналог *ISO 15031-5* в последней редакции от 28.07.2015г)[1], [10].

В 1993г. стандартом *SAE J2190* введены требования к дополнительным диагностическим процедурам, не связанным с выбросами токсичных веществ, однако позволяющим расширить функциональные возможности универсального диагностического оборудования путем взаимодействия с имеющимися на автомобиле ЭБУ при помощи линий связи по *SAE J1850* и *ISO 9141-2* [11].

Группа международных стандартов *ISO 15765* (части 1-7), начиная с 1998 года, регламентируют основные требования к двухпроводной линии *CAN (Controller Area Network)* обмена информацией с внешним диагностическим оборудованием, а также внешним оборудованием для загрузки программного обеспечения (ПО) [2], [3], [4], [12].

Стандарты на передачу информации по диагностической линии между ЭБУ и внешним диагностическим устройством подразделяются на семь уровней в соответствии с так называемой моделью взаимодействия открытых систем (*OSI*), описываемой группой стандартов *ISO 7498* (части 1- 4), а также группой стандартов *ISO 10731* [13], [14].

С 2006 года началось принятие группы международных стандартов *ISO 14229* (части 1-7) описывающие унифицированные диагностические сервисы (*UDS*), позволяющие производить не только чтение диагностической информации из всех имеющихся на автомобиле ЭБУ, но также выполнять процедуры их программирования [15]. В качестве физических линий связи используются: *CAN* по *ISO 11898*, *TCP/IP* по *ISO 13400*, *FlexRay* по *ISO 17458*[1], [2], [3].

Принятыми в 2006 году в рамках ООН глобальными техническими Правилами (*GTR*) №5 были регламентированы гармонизированные глобальные требования к системам бортовой диагностики ТС (*WWH-OBD*). Требования *GTR №5* были учтены в группах стандартов *ISO 14229* (унифицированные диагностические сервисы *UDS*) и *ISO 27145* (реализация требований *WWH-OBD*) [1].

В данных стандартах каждому диагностическому коду, обнаруженному системой диагностики, предусматривается присвоение специфических признаков (атрибутов), характеризующих их следующие особенности [15], [16], [17], [18]:

- **принадлежность** нарушения к описанной стандартами группе систем автомобиля;
- **значимость** диагностического кода с точки зрения необходимого характера реагирования системы диагностики и действий водителя на факт появления неисправности;
- **класс** диагностического кода с точки зрения степени его влияния на выброс вредных веществ;
- **статус** диагностического кода в отношении характера проявления характеризуемой им неисправности, результатов контрольных тестов, выполняемых системой диагностики с целью обнаружения неисправности, а также состояния индикатора неисправностей;
- используемый **формат** отображения диагностических кодов.

Протокол *UDS* использует прикладной и сеансовый уровень в модели *OSI*, а *UDS* сервисы определены в спецификации *ISO 14229-1*. Службы диагностики прикладного уровня подразделяются на шесть групп, в соответствии с их функциями [18]:

- 1) Диагностика и управление связью: основная функция протокола *UDS*. Определяет функционал ЭБУ, управляет системой диагностики, определяет доступ пользователя и контролирует передачу данных.
- 2) Передача данных: это функциональный блок, который имеет возможность доступа к текущим параметрам и данным. Данные должны быть прочитаны или записаны сразу после каждого запроса.
- 3) Запрос сохраненных данных: эта группа функциональных блоков позволяет диагностическим инструментам получать доступ к данным записанным в памяти ЭБУ. Инструменты диагностики могут читать и очищать диагностическую информацию, записанную в “базе данных” памяти ЭБУ.
- 4) Управление входными и выходными параметрами: эта функциональная группа используется для управления исполнительными механизмами, датчиками, устройствами и оборудованием, подключенным к ЭБУ. Все эти входы и

выходы должны быть определены производителем ТС и иметь свой идентификатор данных, в соответствии со стандартом *ISO 14229*.

5) Удаленная активация подпрограмм и управление адаптацией: этот функциональный блок конфигурирует поведение ЭБУ. Для использования данного сервиса, стандартный идентификатор определяется индивидуально производителем ТС или поставщиком системы.

6) Выгрузка-загрузка: данная группа используется для запроса и согласования передачи данных между диагностическим устройством и ЭБУ. Функциональная группа содержит службы для запроса начала передачи, подготовки данных в памяти ЭБУ, для дальнейшей передачи данных, а также запроса на прекращение передачи данных.

Группа стандартов *ISO 14229* получает все большее распространение в системах диагностики современных легковых автомобилей, сертифицируемых по **Правилам ЕЭК ООН №83**. Данный диагностический протокол представляет наибольший интерес и значение в связи с его универсальностью для производителей современных автомобилей. В отечественном промышленном комплексе история становления и использования диагностического протокола *UDS* началась с появлением в НАМИ производства автомобилей представительского класса.

Проанализировав стандарты, в рамках данной работы, унифицированная система диагностики должно соответствовать требованиям и обеспечивать:

- связь со всеми входящими в состав ТС ЭБУ, непосредственно подключенными к диагностической шине *CAN*, или подключенными к ней через межсетевые интерфейсы (по *ISO 14299-3*);
- оценку работоспособности линии связи с каждым из входящими в состав ТС ЭБУ;
- конфигурирование состава (упорядочивание списка и идентификационных признаков) ЭБУ, объединенных шиной *CAN* на конкретном ТС;
- инициализацию (сброс адаптивных и пользовательских настроек к исходным значениям) для каждого по выбору из входящих в состав ТС ЭБУ;
- выполнение адаптивных настроек систем и компонентов на автомобиле (например, исходного положения педали акселератора и дроссельной заслонки, расхода воздуха на холостом ходу и т.п.);
- чтение пользовательских настроек, содержащихся в части ЭБУ на ТС (по выбору);
- редактирование пользовательских настроек для имеющих данную функцию ЭБУ на ТС (по выбору);
- осуществление иных пользовательских функций и принудительно-выполняемых корректирующих процедур (например, программирование ключей системы доступа и т.п.);
- чтение в защищенном режиме содержимого основной, условно разрешенной для модифицирования, части ПО каждого по выбору из входящих в состав ТС ЭБУ;
- запись в защищенном режиме условно разрешенного для модифицирования ПО в каждый по выбору из входящих в состав ТС ЭБУ;
- чтение диагностической информации (диагностические коды и их статусы, признаки значимости и класса, параметры, коды готовности, содержимое сохраненных «стоп-кадров», содержимое диагностических счетчиков и т.д.), а также иной справочной информации от каждого из входящих в состав ТС ЭБУ.

Заключение

Следование мировым тенденциям в части внедрения передовых методов и средств диагностики, позволяет на сегодняшний день говорить о развитии принципиально нового направления в бортовой диагностике в нашей стране. В рамках реализации отечественной диагностической системы необходимо развитие в направлении облачного (удаленного) сервера с диагностическими функциями, который будет обеспечивать безопасную эксплуатацию ТС, собирать и систематизировать данные по автомобилям. Реализация данной системы позволит перепрограммировать и калибровать ЭБУ в ходе работ сервисных центров. Автоматизированная программа через удаленный сервер будет безошибочно выбирать ПО и производить требуемые работы, получая всю необходимую информацию из VIN- номера автомобиля, что позволит избежать влияние человеческого фактора в сфере обслуживания эксплуатируемого транспорта. Для улучшения восприятия ПО необходимо создание новых интуитивно-понятных интерфейсов, а для упрощения использования и поиска неисправностей необходимы сервисы предписанной («ведомой») диагностики для расшифровки диагностических кодов для направления технического специалиста к сути не работающего оборудования с доступом к принципиальным и электрическим схемам автомобиля, для своевременного устранения неполадок в системах функционирования автомобиля. Все указанные задачи должны быть решены специалистами НАМИ с использованием собственных подходов к построению систем бортовой диагностики, с учетом имеющейся международной законодательной базы и на основе имеющегося опыта использования зарубежных систем.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ференец А.В. Интеллектуальные системы диагностики автомобиля на основе современных мировых стандартов / А. В.Ференец, А. А.Шевченко, С. В.Плетнев и др. // Вестник НЦБЖД. – 2016. – № 1(27). – с. 73-78.
2. Щербин А. М. Современные бортовые информационно-управляющие системы автомобильной техники / А. М. Щербин // Журнал автомобильных инженеров. – 2015. – № 3(92). – С. 26-29.
3. Плетнев С. В. Диагностирование двигателя грузового автомобиля на основе технологии ODX / С. В. Плетнев, Ю. В. Крюков, А. В. Ференец и др. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 2. – С. 58-61.
4. Posada F. Global overview of on-board diagnostic (OBD) systems for heavy duty vehicles, [Electronic resource]/F. Posada, A. Bandivadekar //The International Council on Clean Transportation. – 2015. – URL: <https://theicct.org/publication/global-overview-of-on-board-diagnostic-obd-systems-for-heavy-duty-vehicles/>.

5. SAE J1850: Pulse-Width Modulation
6. ISO 9141:1989 Road vehicles — Diagnostic systems — Requirements for interchange of digital information
7. ISO 15031-2:2010 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 2: Guidance on terms, definitions, abbreviations and acronyms;
8. ISO 15031-3:2016 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 3: Diagnostic connector and related electrical circuits: Specification and use;
9. ISO 15031-4:2014 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 4: External test equipment;
10. ISO 15031-5:2015 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 5: Emissions-related diagnostic services;
11. SAE J2190: 2008 Enhanced E/E Diagnostic Test Modes;
12. ISO 15765-3:2004 Road vehicles — Diagnostics on Controller Area Networks (CAN) — Part 3: Implementation of unified diagnostic services (UDS on CAN);
13. ISO 7498-2:1989 Information processing systems — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model — Part 2: Security Architecture;
14. ISO/IEC 10731:1994 Information technology — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model — Conventions for the definition of OSI services;
15. ISO 14229-1:2020 Road vehicles — Unified diagnostic services (UDS) — Part 1: Application layer;
16. ISO 27145-1:2012 Road vehicles — Implementation of World-Wide Harmonized On-Board Diagnostics (WWH-OBD) communication requirements — Part 1: General information and use case definition;
17. ISO 27145-2:2012(en) Road vehicles — Implementation of World-Wide Harmonized On-Board Diagnostics (WWH-OBD) communication requirements — Part 2: Common data dictionary;
18. ISO 27145-3:2012 Road vehicles — Implementation of World-Wide Harmonized On-Board Diagnostics (WWH-OBD) communication requirements — Part 3: Common message dictionary;
19. UN GTR No. 5 - Technical requirements for on-board diagnostic systems (OBD) for road vehicles (ECE/TRANS/180/Add.5).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ferenc A. V. *Intellectual'nye sistemy diagnostiki avtomobilya na osnove sovremennyh mirovyyh standartov*[Intelligent vehicle diagnostic system based on actual international standards] / A. V. Ferenc, A. A. Shevchenko, S. V. Pletnev et al. // *Vestnik NCBZHD [Bulletin of the NCSL]. – 2016. – № 1(27). – p. 73-78. [in Russian]*
2. Shcherbin A. M. *Sovremennye bortovye informacionno-upravlyayushchie sistemy avtomobil'noj tekhniki* [Modern board information and control systems for automotive vehicles] / A. M. Shcherbin // *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov. [Journal of Automotive Engineers]– 2015. – № 3(92). – p. 26-29. [in Russian]*
3. Pletnev S. V. *Diagnostirovanie dvigatelya gruzovogo avtomobilya na osnove tekhnologii ODX* [Diagnostics of a truck engine based on ODX technology] / S. V. Pletnev, YU. V. Kryukov, A. V. Ferenc et al. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. [Bulletin of Kazan technological university] – 2014. – № 2. – p. 58-61. [in Russian]*
4. Posada F. *Global overview of on-board diagnostic (OBD) systems for heavy duty vehicles*, [Electronic resource]/F. Posada, A. Bandivadekar //The International Council on Clean Transportation, –2015,–URL: <https://theicct.org/publication/global-overview-of-on-board-diagnostic-obd-systems-for-heavy-duty-vehicles/>.
5. SAE J1850: Pulse-Width Modulation
6. ISO 9141:1989 Road vehicles — Diagnostic systems — Requirements for interchange of digital information
7. ISO 15031-2:2010 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 2: Guidance on terms, definitions, abbreviations and acronyms;
8. ISO 15031-3:2016 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 3: Diagnostic connector and related electrical circuits: Specification and use;
9. ISO 15031-4:2014 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 4: External test equipment;
10. ISO 15031-5:2015 Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 5: Emissions-related diagnostic services;
11. SAE J2190: 2008 Enhanced E/E Diagnostic Test Modes;
12. ISO 15765-3:2004 Road vehicles — Diagnostics on Controller Area Networks (CAN) — Part 3: Implementation of unified diagnostic services (UDS on CAN);
13. ISO 7498-2:1989 Information processing systems — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model — Part 2: Security Architecture;
14. ISO/IEC 10731:1994 Information technology — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model — Conventions for the definition of OSI services;
15. ISO 14229-1:2020 Road vehicles — Unified diagnostic services (UDS) — Part 1: Application layer;
16. ISO 27145-1:2012 Road vehicles — Implementation of World-Wide Harmonized On-Board Diagnostics (WWH-OBD) communication requirements — Part 1: General information and use case definition;
17. ISO 27145-2:2012(en) Road vehicles — Implementation of World-Wide Harmonized On-Board Diagnostics (WWH-OBD) communication requirements — Part 2: Common data dictionary;
18. ISO 27145-3:2012 Road vehicles — Implementation of World-Wide Harmonized On-Board Diagnostics (WWH-OBD) communication requirements – Part 3: Common message dictionary;
19. UN GTR No. 5 - Technical requirements for on-board diagnostic systems (OBD) for road vehicles (ECE/TRANS/180/Add.5).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.011>**ЛЕГКИЙ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ ДИАТОМИТОВЫХ ПОРОД И БЕТОНА НА ЕГО ОСНОВЕ**

Научная статья

Закревская Л.В.¹, Гавриленко А.А.^{2,*}, Капуш И.Р.³, Любин П.А.⁴¹ ORCID: 0000-0002-7064-7235;² ORCID: 0000-0001-7740-3463;³ ORCID: 0000-0002-3684-5422;⁴ ORCID: 0000-0002-1912-1633;^{1, 2, 3, 4} Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия

* Корреспондирующий автор (GavrilenkoAndrew[at]yandex.ru)

Аннотация

Целью данного исследования является разработка технологии получения нового строительного композита из кремнийсодержащих пород. Заполнитель представляет собой вспененные гранулы, полученные на основе диатомита с добавлением едкого натра, доломита, воды и жидкого стекла. Отражены состав материала, обработка материалов, физико-механические свойства. Проблема щелочно-силикатного взаимодействия, характерная для традиционного портландцемента и стеклофазы, решается за счет использования магнезиального вяжущего. Были синтезированы образцы на портландцементе и магнезиальном вяжущем, содержание заполнителя варьировалось. Некоторые фракции заполнителя использовались для получения высокой плотности упаковки в композите. Бетон оценивали по плотности, прочности на сжатие и изгиб, водопоглощению и теплопроводности. Произведен анализ структуры материала. Результаты исследования микроструктуры синтезированного бетона свидетельствуют о наличии цементной матрицы, в которой плотно упакованы гранулы различных размеров. Результаты рентгенофазового анализа синтезированного бетона свидетельствуют о том, что цементная матрица состоит из кристаллов форстерита. Ориентировочная экономия при использовании бетона с разработанным заполнителем составляет около 7-16%. Такая экономия возможна благодаря тому, что поверхностное залегание кремнистых пород позволяет вести их добычу открытым способом с минимальными затратами по сравнению с другими породами, и более низкой температурой обжига при создании материала.

Ключевые слова: строительство, строительные материалы, легкий бетон, заполнитель, диатомитовые породы.

LIGHT SILICON-CONTAINING DIATOMITE FILLER AND CONCRETES BASED ON IT

Research article

Zakrevskaya L.V.¹, Gavrilenko A.A.^{2,*}, Kapush I.R.³, Lyubin P.A.⁴¹ ORCID: 0000-0002-7064-7235;² ORCID: 0000-0001-7740-3463;³ ORCID: 0000-0002-3684-5422;⁴ ORCID: 0000-0002-1912-1633;^{1, 2, 3, 4} Vladimir State University, Vladimir, Russia

* Corresponding author (GavrilenkoAndrew[at]yandex.ru)

Abstract

The aim of this study is to develop a technology for obtaining a new construction composite from silicon-containing rocks. The filler is foamed granules obtained on the basis of diatomite with the addition of caustic soda, dolomite, water, and liquid glass. The study demonstrates the composition of the material, processing of materials, physical, and mechanical properties. The problem of alkali-silicate interaction, characteristic of traditional Portland cement, and glass phase is solved by using a magnesia binder. Samples were synthesized on Portland cement and magnesia binder, the while the content of the filler was varied. Some fractions of the filler were used to obtain a high density of packaging in the composite. Concrete was evaluated by density, compressive and bending strength, water absorption, and thermal conductivity. The study carries out an analysis of the structure of the material. The results of the study of the microstructure of synthesized concrete indicate the presence of a cement matrix in which granules of various sizes are densely packed. The results of X-ray phase analysis of synthesized concrete indicate that the cement matrix consists of forsterite crystals. The estimated savings when using concrete with the developed aggregate amounts to 7-16%. Such savings are possible due to the fact that the surface occurrence of siliceous rocks allows them to be mined in an open manner with minimal costs compared to other rocks, and a lower firing temperature when creating the material.

Keywords: construction, building materials, light concrete, aggregate, diatomite rocks.

Введение

Возросшая потребность в легком бетоне ставит перед исследователями строительных материалов задачу расширения его ассортимента на базе природных ресурсов с улучшенными тепловыми и структурными свойствами.

Спрос на качественные строительные материалы растет с каждым годом. Важнейшими эксплуатационными показателями строительных материалов являются прочность, теплопроводность, долговечность, и стоимость.

В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» особое внимание следует уделить теплоизоляции зданий.

В последние годы набирает популярность монолитное строительство, в котором легкобетонные конструкции выполняют теплоизоляционную и ограждающую функции. В данном исследовании в качестве легкобетонных конструкций рассматриваются конструкции из бетона на легком заполнителе, произведенном из диатомитовых пород.

В современной литературе эта тема представлена отдельными исследованиями, подтверждающими эффективность использования диатомитовых пород для создания легких заполнителей для бетонов. Несмотря на все имеющиеся исследования потенциал этой породы раскрыт не полностью и нуждается в дальнейшем изучении [1], [2].

Основными задачами исследования являются: изучение физико-механических свойств зернистого теплоизоляционного материала, полученного на основе кремнеземистого сырья, и разработка составов бетонов с высокими эксплуатационными показателями.

Многие технические и эксплуатационные характеристики бетона зависят от вида и свойств заполнителя. Керамзит является «основным полем деятельности», в котором за последние десятилетия отработаны новые подходы к проектированию легких бетонных смесей на пористых заполнителях [3].

Некоторые научные работы по этой теме подтверждают тот факт, что прочность бетона напрямую связана с прочностью гранул пористого заполнителя. Однако исследования свойств зоны «заполнитель-цементная матрица» показывают, что характер связи между заполнителем и цементной матрицей сильно влияет как на прочностные, так и на другие свойства легкого бетона [4], [5], [6].

Кремнистые опал-кristобалитовые породы, по запасам которых Россия занимает первое место в мире, относятся к многоцелевому сырью. Использование этих пород в строительстве, а также их происхождение и распространение изучались во многих работах.

Известно, что кремнистые породы представляют собой легкие мелкопористые порошки, состоящие из мельчайших опаловых обломков диатомей и кристобалита, а также глинистых минералов [5], [7].

Основными и наиболее распространенными диатомитовыми породами являются: диатомит и трепел (рис. 1, 2) [7].



Рис. 1 – Диатомит

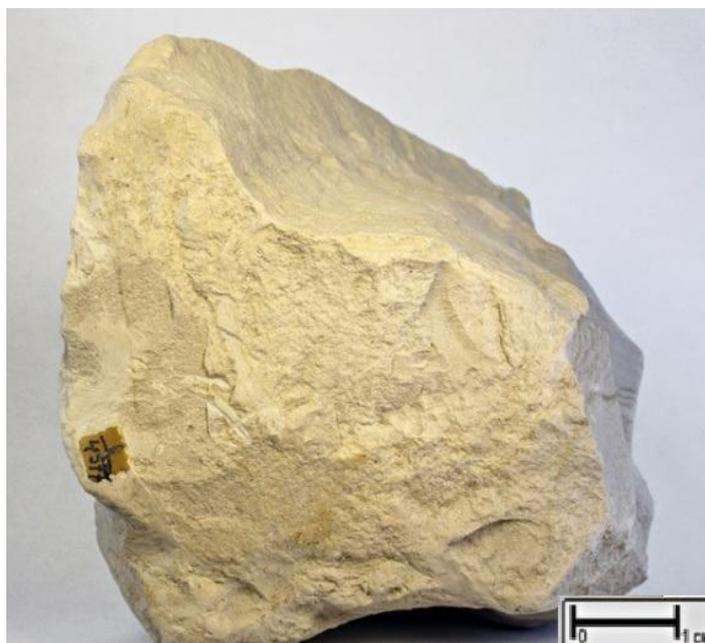


Рис. 2 – Трепел

Диатомиты и трепелы (целит, каменная мука, диатомит, инфузориальная земля) — легкие мелкопористые породы. Диатомиты сложены остатками диатомитовых водорослей (60-80%) и имеют типично органогенное строение. Они рыхло сцементированные, характеризуются серовато-желтым цветом, очень высокой пористостью (20-84%) и низкой плотностью (0,35-1,6 г/см³). Иногда они имеют микрослоистую структуру. Возраст диатомитов палеоген-неогеновый и четвертичный. В России крупные месторождения диатомитов находятся в Поволжье, на Урале и в Закавказье. Имеется возможность использования диатомитовых пород Владимирской области в качестве реакционноспособного аморфного кремнезема.

Трепел внешне и по составу схож с диатомитами. Во влажном состоянии трепел легко растирается пальцами. При микроскопическом исследовании в составе трепла обнаруживаются: опал (75-80%) (рис. 3), глинистое вещество, зерна кварца, глауконит, карбонаты и иногда остатки диатомей. Содержание фракций мельче 0,01 мм - 36,2-46,2%. Удельный вес равен 2,4 т/м³; плотность варьируется от 0,45 до 1,4 г/см³; пористость колеблется от 41 до 81%. Высокая пористость (особенно закрытая пористость) приводит к низкой теплопроводности. Диатомитовые породы используются в качестве гидравлических добавок к цементам, сырья для производства кирпича и легких материалов для обратной закладки [8], [9], [10].

В таблице 1 приведены наиболее важные свойства диатомитовых пород.

Таблица 1 – Физические свойства диатомитовых пород

Плотность ρ_0 , кг / м ³	Истинная плотность ρ_{true} , кг / м ³	Пористость, %	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент твердости по шкале Мооса	Теплопроводность, Вт(м • °С)
350-1600	2000-2500	20-84	2-15	1-4	0,09-0,5

Некоторые авторы [9], [10], [11] утверждают, что химический состав диатомитов и трепела практически одинаков, но микроструктура различна. Это связано с разницей в геологическом возрасте месторождений. Химический состав диатомитов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав диатомитов и трепелов Владимирской области

Хим. соединени	SiO ₂ , %масс	Al ₂ O ₃ , %масс	Fe ₂ O ₃ , %масс	CaO, %масс	MgO, %масс	K ₂ O, %масс
Диатомиты	70 – 96	5 – 15	2 – 5	0,5 – 5	0,5 – 3	0,1 – 1,45
Трепелы	66,2 – 84,7	2,7 – 18,6	0,2 – 5,6	0,24 – 22,1	0,1 – 1,8	0,4 – 1,5

Фазовый состав кремнистых пород представлен тремя минералами: опалом, кристобалитом и кварцем. Преобладающим минералом является опал, содержание которого обычно составляет 56-98%. Во всех кремнистых породах присутствует кварц, содержание которого может колебаться от 5 до 35 %. Кристобалит в диатомитах почти отсутствует. В других разновидностях кремнистых пород его содержание может достигать 20%. Опал состоит из чрезвычайно мелких частиц или пористых агрегатов с развитой внутренней поверхностью [12], [13], [14], [15].

Целью данного исследования является разработка технологий получения нового строительного композита из кремнийсодержащих пород. Низкая теплопроводность и плотность при достаточной прочности являются основными преимуществами полученного заполнителя. Проблема щелочно-силикатного взаимодействия, характерная для традиционного портландцемента и стеклофазы, решается за счет использования магниезиального вяжущего.

Основная часть

Для исследования использовалось следующее сырье:

- диатомит
- каустическая сода
- жидкое стекло
- доломит
- вода

Полученный материал получил рабочее название «Диापен».

«Диापен» — строительный материал нового поколения, синтезированный из кварцевых пород с пористой химически стойкой структурой и сырьевой компонент для легких бетонов.

В таблице 3 приведен состав сырьевых смесей для получения «Диапена».

Таблица 3 – Составы легких кремнистых заполнителей

№ состава	Диатомит увлажненный, %масс	Каустическая сода, %масс	Жидкое стекло, %масс	Вода, %масс	Доломит, %масс
Л1	58	18	5	15	4
Л2	64	15	5	12	4
Л3	71	12	5	9	4
Л4	76	9	5	6	4
Л5	82	6	5	3	4

Подготовка сырья и производство гранул состояло из следующих технологических операций:

- измельчение диатомита;
- увлажнение диатомита;
- дозировка основных компонентов;
- добавление едкого натра, жидкого стекла и воды;
- смешивание ингредиентов;
- производство гранул экструдером;
- вспучивание во вращающейся печи при температуре 880 градусов;

Внешний вид полученных гранул заполнителя показан на рисунке 3.



Рис. 3 – Заполнитель «Диापен»

Для дальнейших исследований был выбран состав Л2, так как он имеет меньшую плотность и теплопроводность по сравнению с другими.

На рис. 4 представлена микроструктура гранул «Диапена», полученная методом сканирующей электронной микроскопии. Данная микроструктура позволяет сделать вывод, что «Диापен» представляет собой материал с закрытыми порами на внешней поверхности и развитой пористостью внутри гранулы.

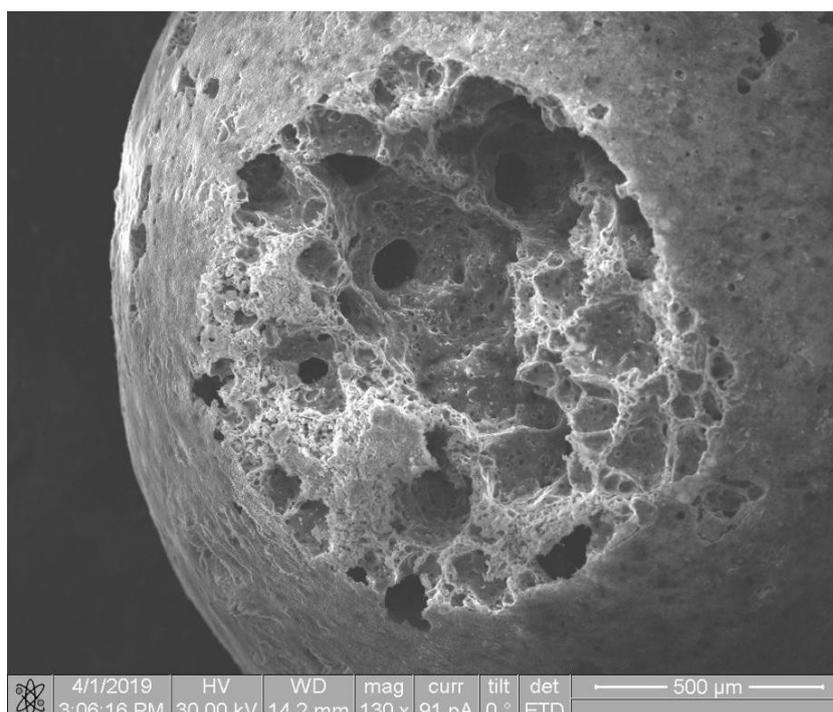


Рис. 4 – Микроскопия внутренней структуры гранул «Диापен»

Исследованы механические и эксплуатационные характеристики «Диापена» для оценки качества полученного материала. Исследование плотности, прочности на сжатие в цилиндре и водопоглощения проводили по ГОСТ 9758-2012. В таблице 4 представлены результаты измерения физико-механических свойств пористого заполнителя.

Таблица 4 – Свойства «Диापена»

Фракция заполнителя, мм	1–5	5–20
Насыпная плотность, кг/м ³	299	192
Прочность на сжатие, МПа	3,8	2,7
Водопоглощение, % масс	4,3	6,2
Водопоглощение, % об	6,3	6,6
Теплопроводность Вт/(м*С)	0,086	0,073

Рекомендуется использовать магнезиальные вяжущие, так как полученный заполнитель имеет в своем составе высокое содержание силикатов, что представляет опасность щелочно-силикатного взаимодействия в бетоне с этим заполнителем, описанную в [17], [18], [19], [20]. Для проверки теоретических предположений были изготовлены экспериментальные образцы легкого бетона на традиционном портландцементе и магнезиальном цементе. В таблице 5 приведен состав легких бетонов с различными вяжущими. В качестве затворителя к магнезиальному вяжущему использовался бишофит.

Таблица 5 – Составы легкого бетона

	Цемент Сореля, % масс	Заполнитель увлажненный, % масс	Затворитель, % масс
LB-C/M-1	7,4	86,9	5,7
LB-C/M-2	8,4	84,8	6,8
LB-C/M-3	9,4	82,8	7,8
LB-C/P-1	10,1	23,58	4,5
LB-C/P-2	11,1	24,36	5,0
LB-C/P-3	12,1	25,12	5,5

Образцы бетона были отобраны из специально приготовленных лабораторных бетонных смесей и испытаны. Образцы набирали прочность в течение 28 дней при температуре воздуха 20°C и относительной влажности 95% в соответствии с ГОСТ 18105-2010.

Вяжущим служил портландцемент марки В42,5.

Плотность бетона определяли в воздушно-сухом состоянии и по ГОСТ 12730.1. Прочность образцов на сжатие, определяли по ГОСТ 10180-2012. Определение водопоглощения проводили по ГОСТ 12730.3-78. Определение теплопроводности проводили по ГОСТ 30256-94. Образцы испытывали на приборе МИТ-1 в нормальных условиях.

Основные результаты

Сравнительные характеристики бетонов на портландцементе и магнезиальном цементе приведены в таблице 6. Образцы, промаркированные LB-C/M изготовлены на основе магнезиального вяжущего, а образцы LB-C/P на основе портландцемента.

Таблица 6 – Результаты испытаний образцов бетона

Название образца	LB-C/M-1	LB-C/M-2	LB-C/M-3	LB-C/P-1	LB-C/P-2	LB-C/P-3
Плотность, кг/м ³	695	693	694	665	659	652,0
Прочность на сжатие, МПа	8,8	8,9	9,0	5,24	5,19	5,15
Водопоглощение, % об	10,78	10,1	10,4	11,2	8,7	8,9
Теплопроводность Вт/(м*С)	0,316	0,322	0,328	0,291	0,252	0,244

Образец LB-C/M-2 был выбран для исследования структуры и фазового анализа. Результаты исследования микроструктуры синтезированного бетона, представленные на рис. 5, 6, свидетельствуют о наличии цементной матрицы, в которой плотно упакованы гранулы различных размеров. Рентгенофазовый анализ образца показан на рисунке 7.

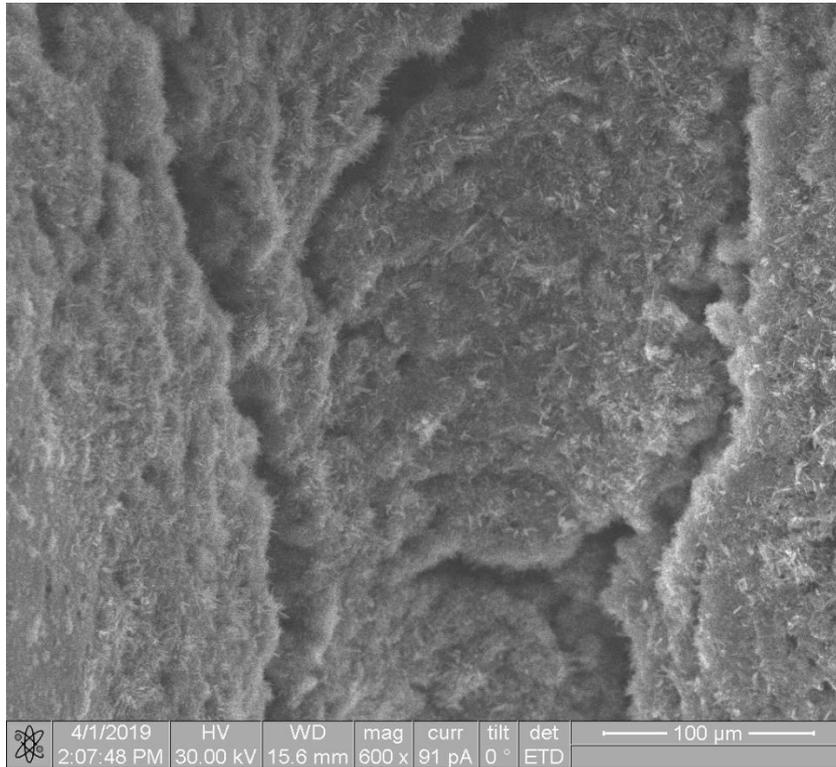


Рис. 5 – Цементная матрица с кристаллами форстерита

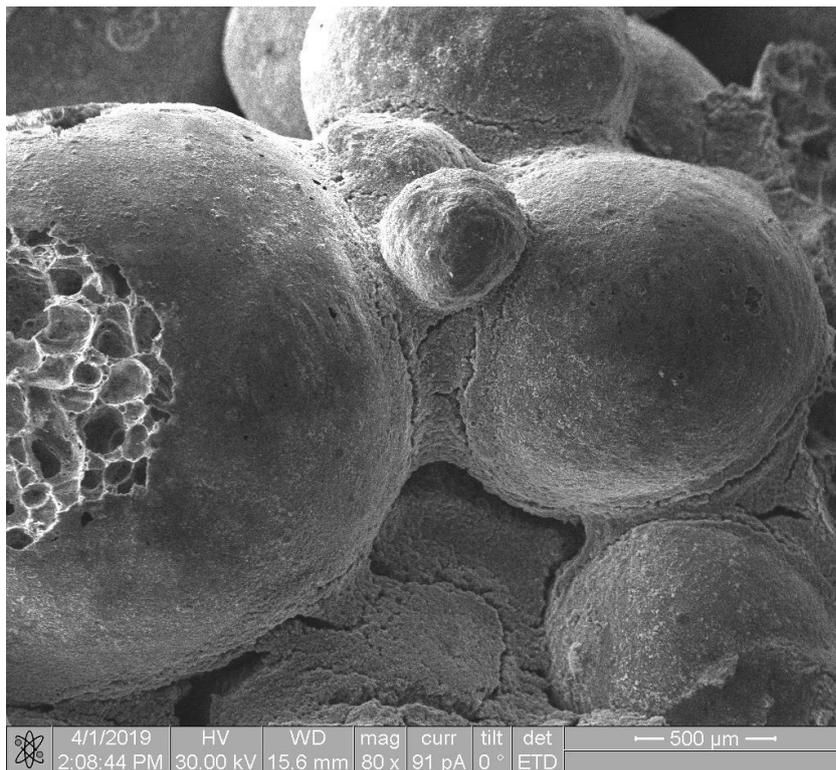


Рис. 6 – Наилотнейшая упаковка

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

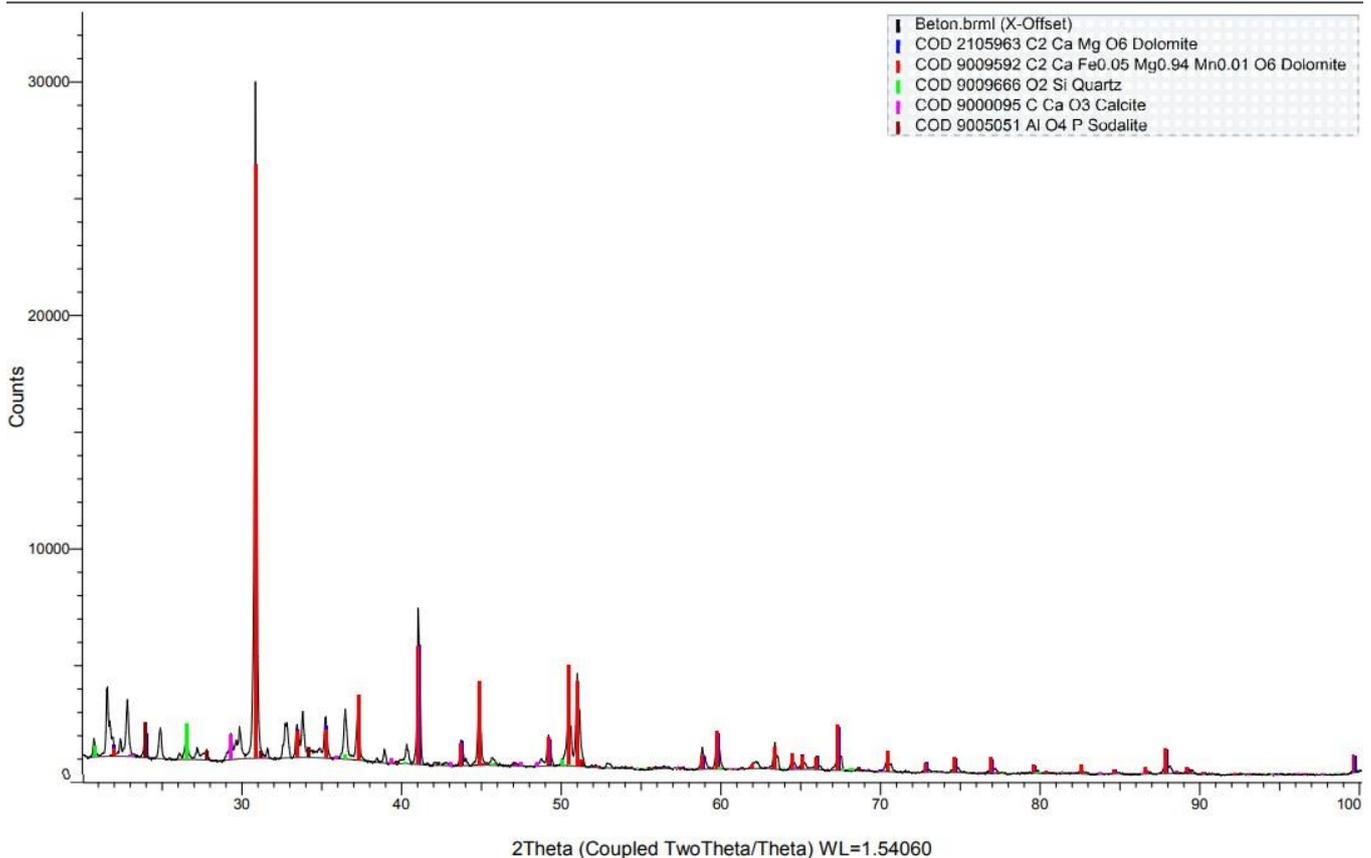


Рис. 7 – Рентгенофазовый анализ образца

Заключение

Одной из причин высокой механической прочности «Диापена» и бетона на заполнителе «Диापен» является образование игольчатых кристаллов, создающих армирующие каркасы по всему объему бетона. Это мы можем увидеть при изучении структуры с помощью растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа.

Результаты испытаний убедительно показали, что разработанный материал обладает хорошими теплоизоляционными и прочностными свойствами, позволяющими изготавливать качественный материал для ограждающих и теплоизоляционных конструкций, особенно для активно развивающегося монолитно-каркасного и малоэтажного строительства, а также с применением разработанного заполнителя, в качестве насыпного утеплителя.

Следует отметить, что добыча кремнистых пород во Владимирской области примерно в 2 раза дешевле добычи сырья для производства керамзита. Его стоимость (вкуче с более низкой температурой обжига в процессе создания) ниже себестоимости производства керамзита. Поверхностное залегание кремнистых пород позволяет вести добычу открытым способом с минимальными затратами по сравнению с другими породами, используемыми для аналогичных целей. Ориентировочная экономия при использовании бетона с разработанным заполнителем составит около 8-15%.

Оценка свойств бетонов со заполнителем «Диापен» и их сравнение с аналогами показывает, что полученный материал не уступает традиционным строительным материалам, а по совокупности отдельных параметров превосходит их, и может быть рекомендован в качестве высокоэффективного теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного материала.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References*

- Adjustable thermal property of polyethylene glycol/diatomite shape-stabilized composite phase change material Polym. / T. Qian, J. Li, H. Ma et al. // Compos. 37. – 2016. – pp. 854–860.
- Polyethylene glycol (PEG) /diatomite composite as a novel shape-stabilized phase change material for thermal energy storage Sol. / S. Karaman, A. Karaipekli, A. Sari et al. // Energy Mater. Sol. Cells 95. – 2011 – pp. 1647–1653.
- Granular phase change composites for thermal energy storage Sol. / Zhang D, Zhou J, Wu K // Energy 78. – 2005. – pp. 351–480.
- Microencapsulation of n-octadecane phase change material with calcium carbonate shell for enhancement of thermal conductivity and serving durability: synthesis, microstructure, and performance evaluation / Yu S, Wang X, Wu D // Appl. Energy. – 2016. – 114. – pp. 632–643.
- Use of phase change materials for thermal energy storage in concrete: an overview / Ling T, Poon C // Constr. Build. Mater. – 2013. – 46. – pp. 55–62.
- Al-Degs Y Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite / Al-Degs Y., Khraisheh M. A. M., Tutunji M. // Water Res. – 2001. –35. – pp. 3724–3728.

7. Elaboration and characterisation of new mesoporous materials from diatomite and charcoal Micropor. / Hadjar H // Mesopor. Mat. – 2008. – 107. – pp. 219–226.
8. Investigation of clay content and sintering temperature on attrition resistance of highly porous diatomite based material / N. Garderen, F. Clemens, M. Mezzomo et al. // Appl. Clay Sci. – 2011. – 52. – pp. 115–121.
9. Li M. Study on preparation and thermal property of binary fatty acid and the binary fatty acids/diatomite composite phase change materials / Li M, Kao H, Wu Z et al. // Appl. Energy. – 2011. – 88. – pp. 1606–1612.
10. Xu B Paraffin/diatomite composite phase change material incorporated cement-based composite for thermal energy storage / Xu B, Li Z // Appl. Energy. – 2013. – 105. – pp. 229–237.
11. Preparation and Thermal Properties of Fatty acid/diatomite Form-Stable Composite Phase Change Material for Thermal Energy Storage Solar Energy / Wen R, Zhang X, Huang Z et al. // Materials and Solar Cells. – 2018. – 178. – pp. 273-279.
12. Assessment of the Mechanical Properties of a Concrete made by Reusing both: Brewery Spent Diatomite and Recycled Aggregates Construction and Building Materials / Letelier V, Tarela E, Muñoz P et al. – 2012. – 114. – pp. 492-498.
13. Preparation and Properties of Fatty Acids Based Thermal Energy Storage Aggregate Concrete Construction and Building Materials / Wang R, Ren M, Gao X et al. – 2018. – 165. – pp. 1-10.
14. Qian T Octadecane/C-Decorated Diatomite Composite Phase Change Material with Enhanced Thermal Conductivity as Aggregate for Developing structural–functional Integrated Cement for Thermal Energy Storage. Energy /T. Qian. – 2018. – 142. – pp. 234-249.
15. Zhang G Microstructural modification of diatomite by acid treatment, high-speed shear, and ultrasound Micropor. / G Zhang // Mesopor. Mater. – 2013 – 165. – pp. 106–112.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.012>

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА НАРУЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Научная статья

Кузьмин О.С.¹, Куликова Е.С.^{2,*}, Заев В.В.³

² ORCID: 0000-0003-2125-8177,

^{1, 2, 3} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (kulikovaes[at]mail.ru)

Аннотация

Опасные производственные объекты нефтегазового комплекса, связанные с транспортировкой, хранением и переработкой нефти, газа и продуктов включают в себя большое количество технологических, магистральных и других трубопроводов, обеспечивающих выполнение различных технологических процессов связанных с многообразием агрессивных сред и операций, проводимых в условиях высокого давления и температур, что оказывает негативное влияние на техническое состояние трубопроводов.

С целью обеспечения работоспособности и увеличения эксплуатационного срока эти трубопроводы необходимо подвергать систематическим диагностическим операциям [4]. Одним из которых является внутритрубная диагностика с применением робототехнических средств.

Однако, остановка технологического процесса и последующие мероприятия, связанные с подготовкой к внутритрубной диагностике, негативно сказываются на рентабельности работы всего предприятия в целом.

В связи с этим, было принято решение о разработке роботизированного устройства наружного обследования и обслуживания трубопроводов, которое обеспечит проведение диагностических и иных операций (очистка стенок, нанесение эмульсий и т.п.) без остановки технологического процесса, и последующих подготовительных мероприятий.

Разрабатываемое устройство должно отвечать требованию универсальности и использоваться на технологических трубопроводах нефтеперерабатывающих заводов и нефтебазах, а его концепция должна быть разработана с учетом всех препятствий, смонтированных на трубопроводах и обеспечивать безостановочное и стабильное движение по трубопроводной линии.

Ключевые слова: транспорт нефтепродуктов; диагностика; обслуживание; промышленная безопасность; технологические трубопроводы.

DEVELOPMENT OF A ROBOTIC DEVICE FOR EXTERNAL PIPELINE MAINTENANCE

Research article

Kuzmin O.S.¹, Kulikova E.S.^{2,*}, Zaev V.V.³

² ORCID: 0000-0003-2125-8177,

^{1, 2, 3} Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (kulikovaes[at]mail.ru)

Abstract

Hazardous production facilities of the oil and gas complex associated with the transportation, storage, and processing of oil, gas, and products include a large number of technological, main and other pipelines that ensure the performance of various technological processes associated with a variety of aggressive environments and operations carried out under high pressure and temperature conditions, which has a negative impact on the technical condition of pipelines.

In order to ensure operability and increase the operational life of these pipelines, it is necessary to undergo systematic diagnostic operations [4]. One of such operations is in-line diagnostics with the use of robotic tools.

However, the shutdown of the technological process and subsequent measures related to the preparation for in-line diagnostics have a negative impact on the profitability of the entire enterprise as a whole.

In this regard, it was decided to develop a robotic device for external inspection and maintenance of pipelines, which will provide diagnostic and other operations (cleaning walls, applying emulsions, etc.) without stopping the technological process and subsequent preparatory measures.

The device being developed must meet the requirement of universality and be used on technological pipelines of oil refineries and oil depots, while its concept must be developed taking into account all obstacles mounted on pipelines and ensure non-stop and stable movement along the pipeline.

Keywords: transportation of petroleum products; diagnostics; maintenance; industrial safety; technological pipelines.

Введение

В соответствии со «Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации» в ближайшие 100-15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать направления, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, обеспечив, в том числе: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта [1]. Поэтому разработка и внедрение в производственный процесс роботизированных устройств для внешнего обслуживания технологических трубопроводов на объектах нефтегазовой промышленности является актуальным, своевременным и определяющим цель исследования. При разработке «Устройства наружного обслуживания трубопроводов», авторами были использованы теоретические и методические разработки отечественных и зарубежных ученых в предметной области, нормативно-техническая документация по отраслям промышленности.

Как отмечают авторы [8], уже сегодня все крупнейшие нефтегазовые корпорации, в т.ч. и российские, включили цифровую трансформацию в стратегии технологического развития ТЭК. Такой интерес обусловлен тем, что в перспективе внедрение цифровых решений приведет к значительному увеличению добычи нефти и повышению экономической эффективности бизнес-сегментов [8]. По мнению авторов [10], наиболее важным направлением с соответствием с внедрением и развитием национальных проектов, обозначенных в указах Президента РФ [3] является развитие робототехники, которое в средне- и долгосрочной перспективе позволит отрасли минимизировать риски для персонала (в частности при работе в неблагоприятных природно-климатических условиях), ускорить процесс принятия решений, сократить сроки выполнения операций и достичь высоких показателей эффективности в технологических процессах.

Например, известен робот для технического контроля трубопроводов и сложных изгибных участков труб [5]. Сущностью данного изобретения является исследование внутренней полости трубопровода, включая сложные изгибы. Отличием и недостатком данного устройства является проведение исследования исключительно внутри трубопровода, так как для проведения подобных операций необходимо выполнение комплекса работ по подготовке трубопровода (дренирование, пропарка, проветривание). Наиболее близким к заявленному изобретению является трубопроводный диагностический робот [6]. Робототехническое устройство также предназначено для исследования наружной поверхности трубопроводов. Однако недостатком данного устройства является отсутствие автономности, то есть управление происходит непосредственно с пульта управления. Стоит отметить, что данный прототип перемещается по верхней части трубопровода, что положительно сказывается на преодолении горизонтальных и вертикальных изгибов трубопроводов, но является недостатком при обследовании, так как нижняя зона трубопровода не охватывается. Кроме того, заявленное устройство преодолевает препятствия посредством двух аэродинамических устройств представленных двумя несущими винтами, что подразумевает воздушное преодоление препятствия, следовательно, отсутствие диагностики в местах, где важен контроль, а именно: на фланцевых соединениях, запорной арматуре и т.п.

Исходя из анализа и опыта передовых технологий создания роботизированных устройств авторы, разработали собственное роботизированное устройство, а именно «Роботизированное устройство наружного обслуживания трубопроводов» [7].

Принцип работы

Роботизированное устройство представлено кольцевым несущим основанием, на котором установлены узлы, включающие в себя восемь мотор - редукторов, осуществляющих движение устройства. Восемь цифровых сервоприводов, которые предназначены для поднятия и опускания стоек шасси с целью преодоления фланцевых соединений. Восемь линейных актуаторов, смонтированных на амортизирующих стойках шасси для выполнения регулировки силы прижатия колес к трубопроводу. Крепление стоек, актуаторов и мотор-редукторов к корпусу происходит с помощью кронштейна, соединенного с сервоприводом.

Процесс преодоления фланцевого соединения представлен на (Рис.1). При приближении к препятствию 3, роботизированное устройство останавливается и с помощью дистанционного управления, осуществляемого оператором, производится жесткая фиксация задних стоек устройства линейным актуатором 4 путем вдавливания колес в стенки трубопровода 2. Далее, выполняется команда на поднятие передних стоек шасси роботизированного устройства 1 и включение моторов задних стоек на движение вперед. После преодоления препятствия 3, передние стойки 1 возвращаются в рабочее положение, фиксируясь на трубопроводе для поднятия задних стоек 4 и дальнейшего преодоления препятствия.

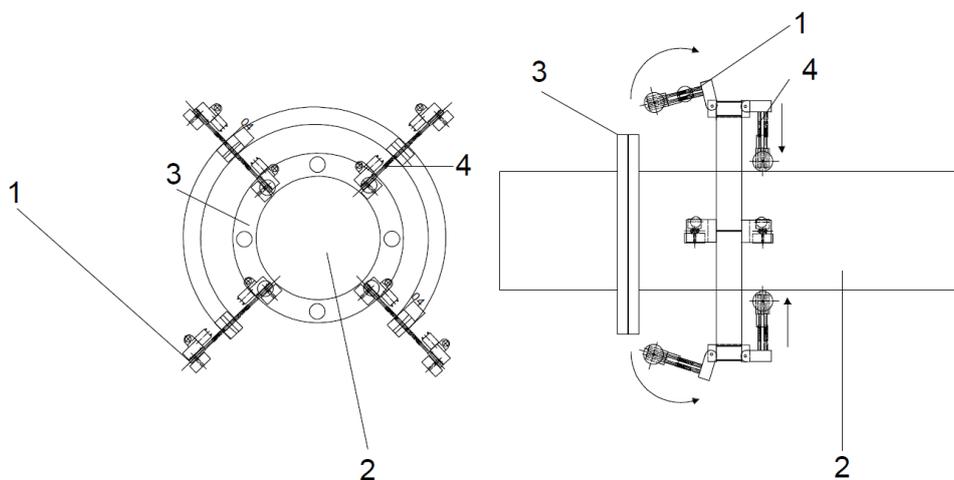


Рис. 1 – Схема преодоления фланцевого соединения:

1 – поднятое шасси робота, 2 – трубопровод, 3 – фланцевое соединение, 4 - заднее зафиксированное шасси

Далее приведен процесс преодоления иных препятствий, смонтированных на трубопроводе (Рис. 2). Тройниковые узлы трубопроводов представлены разветвлением участка с присоединенным боковым ответвлением к основному трубопроводу. Данное препятствие также выступает технической сложной для преодоления помехой, поскольку полностью преграждает путь одному сегменту корпуса трубопровода. Аналогичными препятствиями выступают запорная арматура, контрольно-измерительные приборы и прочие препятствия расположенные перпендикулярно трубопроводу.

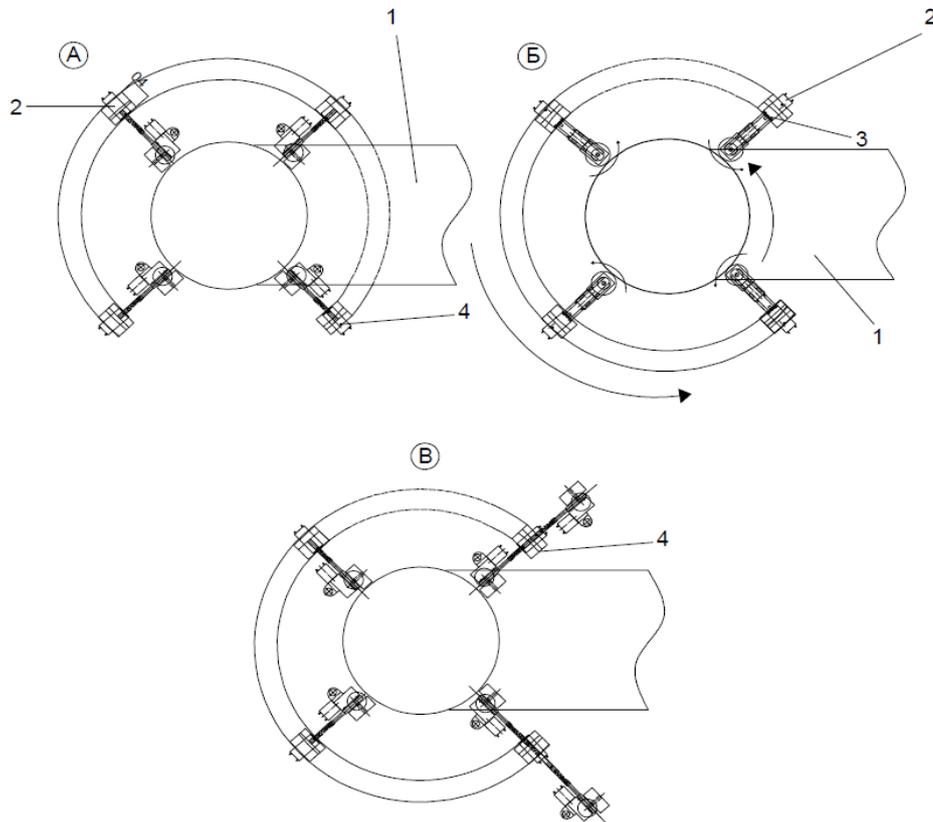


Рис. 2 – Схема преодоления ответвления трубопровода:

A – приближение к трубопроводу, *Б* – поворот узлов шасси на 90° и корпуса;

B – обход препятствия; 1 – трубопровод ответвления; 2 – верхние мотор-редукторы; 3 – рулевой кронштейн; 4 – сервопривод

Принцип обхода препятствий следующий: при приближении к препятствию 1 (*A*), роботизированное устройство останавливается. Далее осуществляется команда на поворот узлов шасси на 90° верхними мотор-редукторами 2 управляющие стойками через рулевой кронштейн 3. После проворота стоек, корпус вращается вокруг оси трубопровода движением колесных мотор-редукторов до момента, пока открытая, разомкнутая область устройства не сравняется с контуром препятствия. Для дальнейшего прохождения препятствия выполняется подъем соответствующих стоек шасси сервоприводами 4 и далее по аналогии со схемой прохождения фланцевого соединения. После прохождения тройникового узла, роботизированное устройство повторяет весь процесс в обратной последовательности до возвращения в первоначальное состояние. Возврат в первоначальную точку необходим, т.к. наиболее частым препятствием на пути следования по трубопроводу являются опоры, установленные на бетонных или металлических стойках, на которых смонтирован трубопровод. Поэтому для преодоления данного препятствия, разомкнутая область устройства должна находиться снизу до возникновения потребности прохождения иных препятствий. Для более полного охвата трубопровода роботизированным устройством, разрабатывается мероприятие по полному замыканию кольца робота сегментом корпуса, способным расстыковываться и прятаться в теле корпуса после получения команды от оператора. Таким образом кольцевой корпус будет оставаться разомкнутым лишь непродолжительное время по необходимости, а все остальное время – замкнут.

Поскольку перечисленные препятствия, как правило, смонтированы в разных позициях и точках трубопровода, их преодоление предусматривает определенные технические решения, которые требуют наибольшей универсальности, поскольку предусматривать каждый способ в отдельности является ресурсо- и энергозатратным мероприятием

Заключение

В статье изложена основная концепция по созданию роботизированного устройства для наружного обслуживания трубопроводов, а также скомпилирована и создана модель участка трубопровода с основными препятствиями. Роботизированное устройство управляется оператором по кабелю либо с применением дистанционных технологий. Роботизированное устройство наружного обслуживания позволит проводить диагностические и иные операции на внешней стенке трубопровода без остановки технологических процессов, дренирования и последующих мер, которые применяются для запуска роботов ВТД. А его форма не только позволит преодолевать встречающиеся препятствия, но и обеспечит полный охват стенок трубопровода. Роботизированное устройство также позволит расширить технологические возможности при проведении внутритрубной дефектоскопии трубопроводов среднего и высокого давления посредством диагностических колесных роботов с дистанционным управлением. Разработанное авторами устройство заявлено в качестве изобретения РФ № 2022101595 от 24.01.2022.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации / Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 // Справ. - правовая система «Консультант Плюс».
2. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 12.103.2022).
3. Национальная программа "Цифровая экономика Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565341150?marker> (дата обращения: 12.103.2022).
4. СП 422.1325800.2018. Трубопроводы магистральные и промысловые для нефти и газа [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403580> (дата обращения: 12.103.2022).
5. Патент РФ № 2707306. Робот для технического контроля трубопроводов и сложных изгибных участков труб, 2019
6. Патент RU 2707644 C1 от 28.11.2019. Опубликовано: 28.11.2019 Бюл. № 34
7. Заявка на изобретение [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet (дата обращения: 12.103.2022).
8. Козлова, Д.В. Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли: барьеры и пути их преодоления / Д. В. Козлова, Д. Ю. Пигарев // Газовая промышленность. – 2020. – № 7(803). – С. 34-38.
9. Куликова, Е.С. Разработка и внедрение цифровых технологий в образовательный процесс в области транспортировки и хранения нефти, газа и продуктов их переработки / Е. С. Куликова, О. С. Кузьмин, Т. А. Куликова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 8-3(110). – С. 58-62. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.110.8.085.
10. Зацепин А, Ключевой инструмент цифровой трансформации. Нефтегазовая вертикаль. [Электронный ресурс] / А. Зацепин, Д. Марисов // URL: <http://www.ngv.ru/magazines/article/klyuchevoy-instrument-tsifrovoy-transformatsii/> (дата обращения: 12.103.2022).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii [On the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation] / Decree of the President of the Russian Federation from 01.12.2016 № 642 // Sprav. - pravovaja sistema «Konsul'tant Pljus». [in Russian]
2. Jenergeticheskaja strategija Rossijskoj Federacii na period do 2035 goda [Energy Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2035]. [Electronic resource] - URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (accessed: 12.03.2022). [in Russian]
3. National Program "Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii" [Digital Economy of the Russian Federation]. [Electronic resource] - URL: <https://docs.cntd.ru/document/565341150?marker> (accessed: 12.03.2022). [in Russian]
4. SP 422.1325800.2018. Truboprovody magistral'nye i promyslovyje dlja nefti i gaza [Main and Field Pipelines for Oil and Gas]. [Electronic resource] - URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403580> (accessed: 12.03.2022). [in Russian]
5. Patent RF № 2707306. Robot dlja tehničeskogo kontrolja truboprovodov i slozhnyh izgibnyh uchastkov trub [Robot for Technical Control of Pipelines and Complex Bending Sections of Pipes], 2019 [in Russian]
6. Patent RU 2707644 C1 from 28.11.2019. Published: 28.11.2019 Issue № 34 [in Russian]
7. Application for an Invention. [Electronic resource] - URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet (accessed: 12.03.2022). [in Russian]
8. Kozlova, D.V. Cifrovaja transformacija neftegazovoj otrasli: bar'ery i puti ih preodolenija [Digital Transformation of the Oil and Gas Industry: Barriers and Ways to Overcome Them] / D. V. Kozlova, D. Ju. Pigarev // Gazovaja promyshlennost' [Gas Industry]. – 2020. – № 7(803). – pp. 34-38. [in Russian]
9. Kulikova, E.S. Razrabotka i vnedrenie cifrovyh tehnologij v obrazovatel'nyj process v oblasti transportirovki i hranenija nefti, gaza i produktov ih pererabotki [Development and Implementation of Digital Technologies in the Educational Process in the Field of Transportation and Storage of Oil, Gas and Products of Their Processing] / E. S. Kulikova, O. S. Kuz'min, T. A. Kulikova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2021. – № 8-3(110). – pp. 58-62. – DOI 10.23670/IRJ.2021.110.8.085. [in Russian]
10. Zacepin A, Ključevoj instrument cifrovoj transformacii. Neftegazovaja vertikal'. [A Key Tool of Digital Transformation. Oil and Gas Vertical.] [Electronic resource] / A. Zacepin, D. Marisov // URL: <http://www.ngv.ru/magazines/article/klyuchevoy-instrument-tsifrovoy-transformatsii/> (accessed: 12.03.2022). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.013>

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРОВ ПРОЛИВОВ ЖИДКИХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ

Научная статья

Медведева Л.В.^{1,*}, Романов Н.Н.², Симонова М.А.³

¹ ORCID: 0000-0001-8891-0620;

² ORCID: 0000-0001-8254-9424;

³ ORCID: 0000-0003-2716-0349;

^{1,2} Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы, г. Санкт-Петербург, Россия;

³ Высшая школа техносферной безопасности Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Россия

* Корреспондирующий автор (lavlmed[at]mail.ru)

Аннотация

Представлена автоматизированная методика оперативной оценки последствий при воздействии теплового излучения пожаров пролива жидких горючих веществ. Численная реализация методики осуществляется в программном комплексе, который работает в среде Microsoft Office Excel с применением Visual Basic for Applications, обеспечивает автоматизированный ввод справочной информации и оперативное редактирование исходных данных. Практическое использование программного комплекса не требует специальной подготовки оператора, что позволяет ему оперативно оценить комплекс параметров: время достижения критической температуры рабочей арматуры несущей конструкции; время потери теплоизолирующей способности железобетонной и бетонных конструкций; минимальные безопасные расстояния от очага пожара до объекта облучения. Численная оценка возможных последствий воздействий опасного фактора пожара на различные объекты облучения может быть произведена при одном и том же варианте чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: интенсивность теплового излучения, критическая температура, критическая плотность теплового потока, ограждающие конструкции, безопасные расстояния, пожар пролива жидкости, резервуар.

COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR THE OPERATIONAL ASSESSMENT OF THE THERMAL EFFECTS OF SPILLS OF LIQUID COMBUSTIBLE SUBSTANCES

Research article

Medvedeva L.V.^{1,*}, Romanov N.N.², Simonova M.A.³

¹ ORCID: 0000-0001-8891-0620;

² ORCID: 0000-0001-8254-9424;

³ ORCID: 0000-0003-2716-0349;

^{1,2} Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia;

³ Higher School of Technosphere Safety of the Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

* Corresponding author (lavlmed[at]mail.ru)

Abstract

The current study presents an automated method of operational assessment of the consequences of exposure to thermal radiation of fires caused by the spill of liquid combustible substances. The numerical implementation of the methodology is carried out in a software package that works in the Microsoft Office Excel environment using Visual Basic for Applications, provides automated input of reference information and operational editing of source data. The practical use of the software package does not require special training of the operator, which allows for quickly assessing a set of the following parameters: the time to reach the critical temperature of the working armature of the supporting structure; the time of loss of thermal insulation ability of reinforced concrete and concrete structures; minimum safe distances from the fire source to the irradiation object. A numerical assessment of the possible consequences of the effects of a dangerous fire factor on various irradiation objects can be made in the case of the same variant of an emergency situation.

Keywords: heat radiation intensity, critical temperature, critical heat flux density, enclosing structures, safe distances, liquid spill fire, reservoir.

Введение

Хранение на предприятиях нефтегазового комплекса больших объемов разнообразных горючих нефтепродуктов, а также их транспортировка являются потенциально опасными процессами, которые могут стать причинами возникновения аварийных ситуаций.

Одним из наиболее опасных видов чрезвычайной ситуации является пожар пролива нефтепродуктов, возникающих при полном разрушении или разгерметизации резервуара на нефтебазах и автозаправочных комплексах, авариях на железнодорожных станциях и при автомобильных транспортировках нефтепродуктов.

Для предотвращения последствий чрезвычайных ситуаций необходимо предусматривать соответствующие меры по обеспечению пожарной безопасности в зонах пожаров проливов различных жидких горючих веществ. Успешное выполнение задач обеспечения пожарной безопасности в значительной степени зависит от результатов оперативной и достоверной оценки вероятности поражения технологического оборудования, зданий и людей в результате теплового воздействия пожара проливов жидких горючих веществ.

В настоящее время нормативно-методическая база содержит необходимые требования по обеспечению безопасности [1], [2], [3], [4], но нормативные методики являются трудоемкими расчетами, что существенно затрудняет их оперативное практическое применение.

Таким образом, в современных условиях оперативная оценка последствий теплового воздействия пожаров пролива горючих жидкостей, а, следовательно, разработка экономически оптимальных и эффективных противопожарных мероприятий и соответствующих тактических приемов по ликвидации чрезвычайной ситуации становится невозможной без численного моделирования пожароопасных ситуаций [5].

С позиций выше изложенного разработка адаптивной и автоматизированной методики оценки теплового воздействия пожаров проливов жидких горючих веществ, становится актуальной научно-практической задачей, для решения которой разработан программный комплекс, позволяющий оперативно оценить:

- время достижения критической температуры рабочей арматуры несущей конструкции;
- время потери теплоизолирующей способности железобетонной и бетонных конструкций;
- минимальные безопасные расстояния от очага пожара до объекта облучения.

Методы и принципы исследования

Объектами исследования являются ограждающие бетонные и железобетонные стены зданий различного назначения.

В качестве основного опасного фактора пожара пролива горючих жидкостей рассматривается интенсивность теплового излучения.

Методами исследования являются: метод конечных разностей; методика определения интенсивности теплового излучения пожара пролива горючих жидкостей.

Согласно [6], [7] потеря теплоизолирующей способности ограждающих конструкций зданий, происходит при повышении температуры на необогреваемой поверхности в среднем более чем на 160 °С или в любой точке этой поверхности на 220 °С по сравнению с первоначальной.

Потеря несущей способности стены, оценивается по прогреву защитных слоев бетона и рабочей арматуры до достижения критических температур $t_{кр}$, при которых происходит снижение прочностных свойств материала до такой степени, что конструкция становится неспособной выдерживать приложенную к ней внешнюю нагрузку.

Оценка воздействия теплового излучения пожара на огнестойкость наружных железобетонных стен зданий, возможна по результатам расчета температурного прогрева ограждений при известных толщинах защитного слоя бетона, вида бетона, а также типа арматуры.

Одной из наиболее эффективных мер обеспечения пожарной безопасности различных защищаемых технических объектов, является их размещение на заранее определенные безопасные расстояния от технологического оборудования с горючими веществами.

Для расчета безопасного расстояния при пожаре используется метод, основанный на сравнении расчетной интенсивности лучистого теплового потока от источника излучения q с минимально допустимым, регламентированным нормативными документами по пожарной безопасности для облучаемого объекта критическим значением $q_{кр}$, т.е. минимальным значением поверхностной плотности теплового потока, при котором возникает устойчивое пламенное горение.

Условие пожарной безопасности считается выполненным, если полученная в результате расчета интенсивность излучения q меньше критического значения для данного объекта $q_{кр}$.

$$q_{кр} \geq q \quad (1)$$

В настоящее время для определения интенсивности теплового излучения при пожаре пролива жидких горючих веществ используется методика, соответствующая требованиям технического нормативного правового акта и отражающая порядок расчёта для различных случаев взаимного расположения излучающей и облучаемой поверхностей [8], согласно которой искомая величина q (Вт/м²) предлагается определять по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau_A \quad (2)$$

где E_f — среднеповерхностная интенсивность теплового излучения, Вт/м²;

F_q - угловой коэффициент облученности; τ_A - коэффициент пропускания атмосферы.

Исходными данными для вычисления интенсивности излучения по формуле (2) в указанной методике является объем и свойства разлитой жидкости, плотность окружающего воздуха и скорость ветра.

При решении данного типа задач в расчете интенсивности излучения q значение среднеповерхностной интенсивности теплового излучения E_f принимается из справочной литературы [8].

Алгоритм решения задачи расчета безопасного расстояния объекта от центра пролива представлен на рисунке 1.

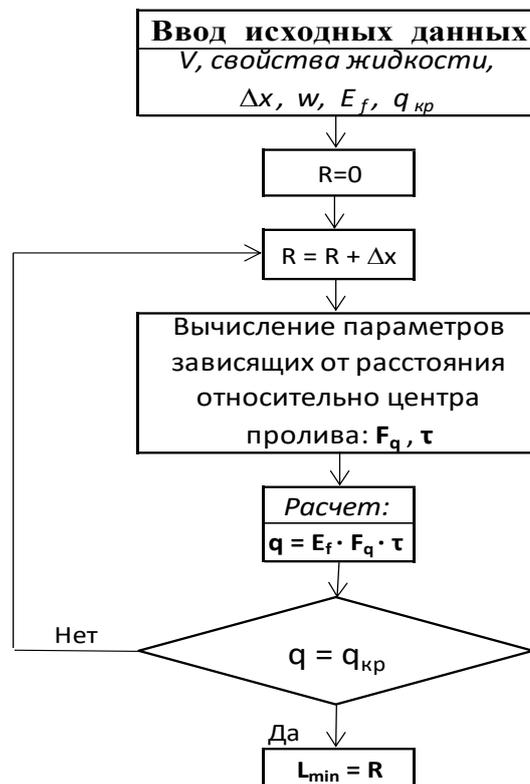


Рис. 1 – Алгоритм оценки безопасного расстояния объекта от центра пролива

При расчете прогрева ограждающих конструкций для определения потери теплоизолирующей или несущей способности значение среднеповерхностной интенсивности теплового излучения определяется по формуле:

$$E_f = \varepsilon_{np} C_0 \left[\left(\frac{t_f + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t(0, \tau) + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (3)$$

где

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_\phi} + \frac{1}{\varepsilon_o} - 1}$$

Здесь t_f - температура факела пламени, $^{\circ}\text{C}$; $t(0, \tau)$ - температура на обогреваемой поверхности ограждения, $^{\circ}\text{C}$; ε_o - степень черноты объекта облучения; ε_ϕ - степень черноты факела пламени; $C_0 = 5,67 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Для оценки воздействия интенсивного теплового излучения пожара на огнестойкость ограждающих конструкций зданий или сооружений, расчет температурного прогрева конструкции $t(x, \tau)$ осуществляется с помощью апробированной расчетной схемы [9] основанной на совместном решении дифференциального уравнения теплопроводности для плоской стенки (4) и соответствующих начальных (7) и переменных граничных (5,6) условий.

Уравнение теплопроводности является нелинейным, так как при расчете прогрева железобетонных конструкций в условиях пожара, необходимо учитывать изменения свойств материала в зависимости от его температуры и времени высокотемпературного воздействия.

$$c(t) \cdot \rho \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(t) \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right] \quad (4)$$

$$\lambda(t) \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} = q(\tau) \quad (5)$$

$$\lambda(t) \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = -\alpha_2(\tau) \cdot [t(\delta, \tau) - t_{f2}] \quad (6)$$

$$t(x, 0) = t_0 \quad (7)$$

Здесь x – координата по толщине конструкции, м; $t(x, 0)$ – начальное распределение температуры по толщине конструкции, равное значению t_0 , °C; t_{f2} – температура среды со стороны необогреваемой поверхности конструкции, °C; $t(\delta, \tau)$ – температура на необогреваемой поверхности конструкции в момент времени τ ; $\lambda(t)$ – теплопроводность материала конструкции, Вт/(м·°C); $c(t)$ – теплоемкость материала конструкции, Дж/(кг·°C); ρ – плотность материала конструкции, кг/м³; $\alpha_2(\tau)$ – коэффициент теплообмена между необогреваемой поверхностью конструкции и окружающей средой, Вт/(м²·°C); δ – толщина всей конструкции, м; $q(\tau)$ – интенсивность теплового излучения, определяемая по формуле:

$$q(\tau) = \varepsilon_{np} C_0 \left[\left(\frac{t_f + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t(0, \tau) + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_q \cdot \tau_A \quad (8)$$

Решение дифференциального уравнения (4) относительно температур ограждающей конструкции осуществляется методом конечных разностей, заменяя дифференциальное уравнение теплопроводности его конечно-разностным аналогом. Для этого, конструкция рассматривается как тело состоящего из конечного числа слоев n толщиной Δx , а непрерывное распределение температуры заменяется ступенчатым во времени с расчетным интервалом $\Delta \tau$.

Толщина расчетного слоя конструкции Δx принимается из условия:

$$\Delta x \leq \frac{\delta_z}{2} \quad (9)$$

где δ_z – толщина защитного слоя бетона до арматуры, м.

Используя неявную разностную схему, температура по толщине конструкции в момент времени τ_j определяется по соответствующим формулам:

• температура на обогреваемой поверхности конструкции $t(0, \tau_j)$:

$$t(0, \tau_j) = \frac{q(\tau_j) \cdot 1 + EE + EE \cdot [E \cdot t(1, \tau_{j-1}) + D \cdot t(2, \tau_j)]}{E + D} \quad (10)$$

• температура во внутренних слоях конструкции:

$$t(x_i, \tau_j) = \frac{E \cdot t(x_i, \tau_{j-1}) + D \cdot [t(x_{i-1}, \tau_j) + t(x_{i+1}, \tau_j)]}{E + 2 \cdot D} \quad (11)$$

• температура на необогреваемой поверхности конструкции:

$$t(\delta, \tau_j) = \frac{2 \cdot D \cdot t(n, \tau_j) + \alpha_2(\tau_j) \cdot t_0}{2 \cdot D + \alpha_2(\tau_j)} \quad (12)$$

Здесь

$$E = \frac{c(t) \cdot \rho \cdot \Delta x}{\Delta \tau}, \quad D = \frac{\lambda(t)}{\Delta x}, \quad EE = \frac{2 \cdot D}{E + D}, \quad t(x_i, \tau_j) - \text{температура } i\text{-того слоя конструкции с координатой}$$

$x_i = i \cdot \Delta x$ в момент времени $\tau_j = j \cdot \Delta \tau$; j – счетчик временных интервалов; i – номер слоя.

Коэффициент теплоотдачи со стороны необогреваемой поверхности конструкции $\alpha_2(\tau)$ определяется согласно [10] по формуле:

$$\alpha_2(\tau) = Nu_m \cdot \frac{\lambda_{f2}(t_m)}{\ell} \quad (13)$$

Где

$$Nu_m = 0.135 \cdot (Gr_m \cdot Pr_m)^{0.33}; \quad Gr_m = \beta \cdot g \cdot \frac{[t(\delta, \tau) - t_{f2}] \cdot \ell^3}{\nu^2}$$

$$Pr_m = \frac{\nu_{f2}(t_m)}{a_{f2}(t_m)}; \quad \beta = \frac{1}{T_m}; \quad T_m = t_m + 273; \quad t_m = \frac{t(\delta, \tau) + t_{f2}}{2}$$

В этих формулах $\lambda_{f2}(t_m)$, $\nu_{f2}(t_m)$ и $a_{f2}(t_m)$ – теплофизические свойства окружающей среды при температуре t_m , соответственно – коэффициенты теплопроводности, кинематической вязкости и температуропроводности; ℓ – высота ограждения.

Основные результаты

Разработанный программный комплекс, предназначенный для приближенной оценки последствий воздействий теплового излучения при пожаре пролива горючих жидкостей, представляет собой комплекс из двух вычислительных модулей [11], [12], каждый из которых решает конкретную практическую задачу.

При запуске программного комплекса на экране отображается окно для выбора задачи по оценке воздействий теплового излучения на объекты облучения, представленное на рис. 2.



Рис. 2 – Практические задачи по оценке воздействий теплового излучения на объекты облучения

При выборе в меню задачи по определению безопасного расстояния объекта исследования от центра пролива горючей жидкости осуществляется ввод соответствующих исходных данных для расчета (см. рисунок 3):

- выбирается из предлагаемого сортамента вид горючей жидкости (бензин, сырая нефть, дизельное топливо и т.д.), характеристики которой автоматически загружаются в программу для дальнейших численных расчетов (плотность горючей жидкости ρ ; удельная массовая скорость выгорания M ; плотность насыщенных паров жидкости при температуре кипения ρ_n);

- выбирается вариант задания площади пролива (определяемая либо площадью обвалования, либо объемом разлитой горючей жидкости);

- из базы данных осуществляется выбор объекта облучения и его степень поражения (болевые ощущения человека через 10-20 сек.; воспламенение древесины с шероховатой поверхностью; воспламенение древесины, окрашенной масляной краской; воспламенение торфа; воспламенение ГЖ; здания, сооружения и т.д.), что приводит к автоматической загрузке значения критической плотности теплового излучения $q_{кр.}$;

- вводится численное значение скорости ветра и температуры окружающей среды (для автоматической загрузки в программу значения плотности воздуха).

Определение безопасного расстояния от пожара пролива ГЖ

Горючая жидкость

Площадь пролива определяется

Выбор объекта исследования

Температура окружающей среды, °C Скорость ветра, м/с

Рис. 3 – Окно для ввода исходных данных вычислительного модуля оценки безопасных расстояний

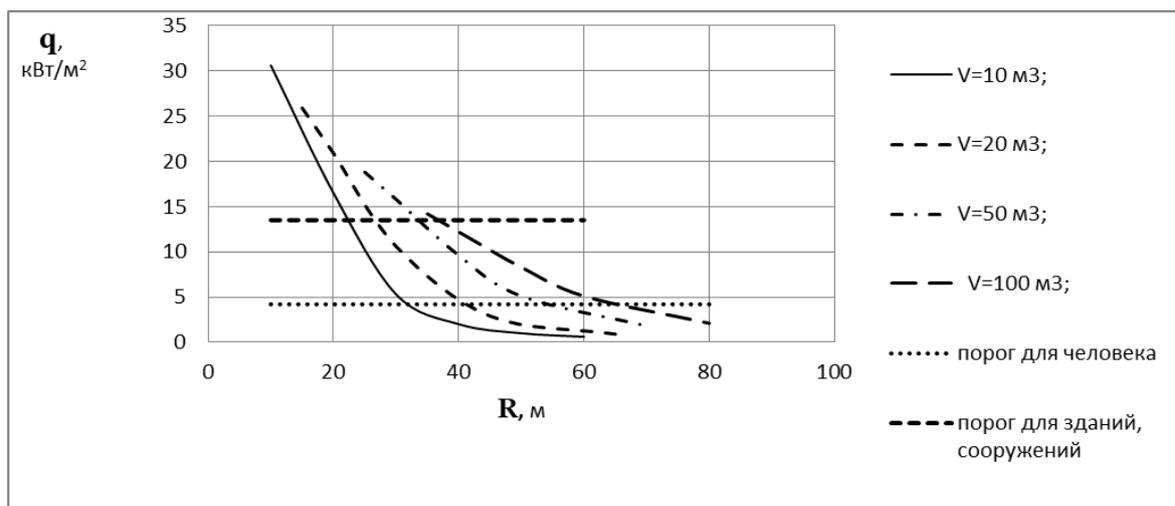
Результаты расчета интенсивности излучения при пожаре пролива дизельного топлива в зависимости от объема разлитой горючей жидкости могут быть представлены как в виде табличных значений (см. рисунок 5), так и графически (см. рисунок 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Степень поражения	Безопасное расстояние, м
Воспламенение древесины, окрашенной масляной краской	20,6

Диаметр пролива	28,8	м
Высота факела	38,0	м
Площадь пролива	25,9	м ²
Угловой коэф.облучения	0,53	
Коэф.пропускания	0,98	
E_f	25,9	кВт/м ²

Рис. 4 – Табличное представление результатов расчета по определению минимальных безопасных расстояний различных объектов облучения

Рис. 5 – Графическое представление результатов расчетов интенсивности излучения в зависимости от расстояния R до центра пролива дизельного топлива

Для оценки вероятности потери теплоизолирующей или несущей способности несущих конструкций в окне «Практические задачи по оценке воздействий теплового излучения на объекты облучения» (см. рисунок 2) выбирается вычислительный модуль «Прогрев ограждающих конструкций зданий и сооружений». При этом действии появляется окно для ввода оператором исходных данных вычислительного модуля расчета прогрева ограждающих конструкций (см. рисунок 6):

- толщины защитного слоя бетона δ_z до арматуры, м;
- вида бетона из предлагаемого сортамента, теплофизические свойства (теплопроводность $\lambda(t)$, теплоемкость $c(t)$, плотность ρ и степень черноты ε_o) которого, автоматически загружаются в программу;

- высоты ограждения l , м;
- расчетный интервал времени Δt , с;
- расчетный шаг по толщине конструкции Δx , м;
- параметры для вывода результатов расчета.

Температура факела пламени t_f и степень черноты факела пламени ε_ϕ в исходные данные задачи загружаются автоматически.

Температурный прогрев ограждающих конструкций при пожаре пролива ГЖ

Параметры ограждающей конструкции		Параметры для определения интенсивности теплового излучения пожара пролива ГЖ	
Строительный материал	Бетон на известняковом заполнителе	Горючая жидкость	дизельное топливо
Общая толщина конструкции, мм	120	Высота, м	4
Толщина защитного слоя бетона, мм	30	Площадь пролива определяется	объемом пролитой ГЖ, м ³ 100
Свойства материала		Расстояние от ограждения до центра пролива, м	35
Теплопроводность $\lambda = \lambda_0 + \beta \cdot t, \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	Степень черноты 0,85	Температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$	25
λ_0 1,14 β -0,00055		Скорость ветра, м/с	5
Теплоемкость $c = c_0 + \beta_c \cdot t, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	Плотность, кг/м ³ 2350		
c_0 0,71 β_c 0,00083			
Конечно-разностная схема решения задачи			
Расчетный шаг по времени Δt	60 сек.	Расчетный шаг по координате Δx	20 мм
Вывод результатов расчета через	20 мин.	в	6 интервалах времени для 6 точек по координате

Рис. 6 – Окно для ввода исходных данных вычислительного модуля расчета прогрева ограждающих конструкций

На рисунках 7- 9 представлены результаты следующих практических расчетов:

- изменение температуры по толщине 160 мм железобетонной стены на расстоянии 75 м до геометрического центра пролива 500 м³ дизельного топлива (см. рисунок 7);
- зависимость времени достижения критической температуры ($t_{кр}=470^\circ\text{C}$) арматуры в 160 мм железобетонной стене при защитном слое тяжелого бетона толщиной 20 мм в от объема пролива бензина и расстояния до геометрического центра пролива R (см. рисунок 8);
- зависимость времени достижения критической температуры ($t_{кр}=470^\circ\text{C}$) арматуры в 160 мм железобетонной стене при защитном слое тяжелого бетона толщиной 20 мм в от объема пролива бензина и расстояния до геометрического центра пролива R (см. рисунок 9)

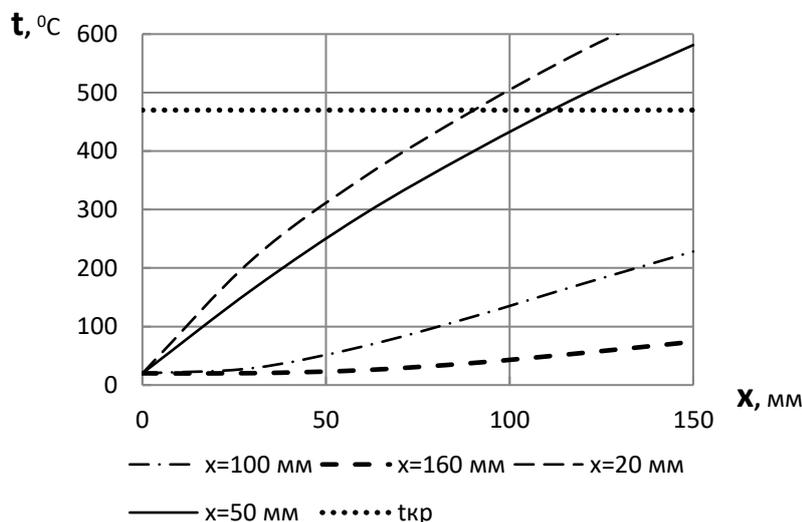


Рис. 7 – Изменение температуры по толщине железобетонной стены на расстоянии R до геометрического центра пролива известного объема дизельного топлива

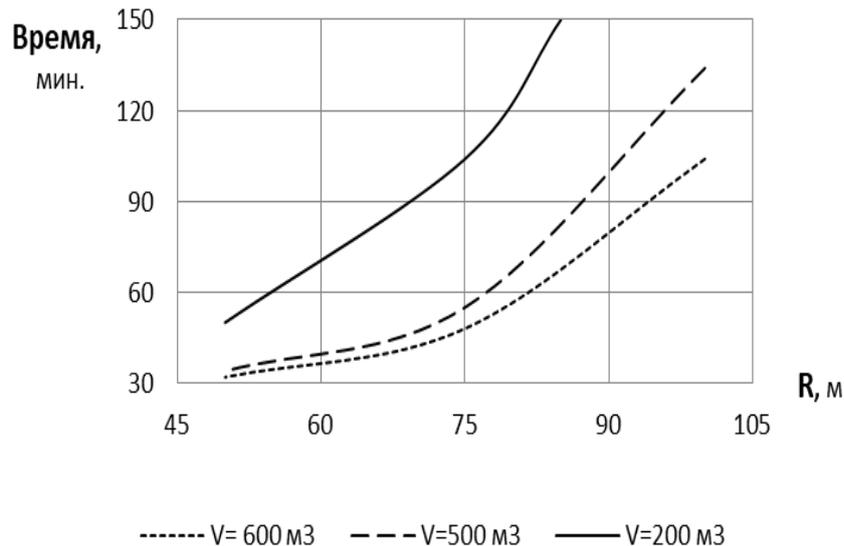


Рис. 8 – Зависимость времени достижения критической температуры арматуры в железобетонной стене при защитном слое тяжелого бетона от объема пролива бензина и расстояния до геометрического центра пролива R

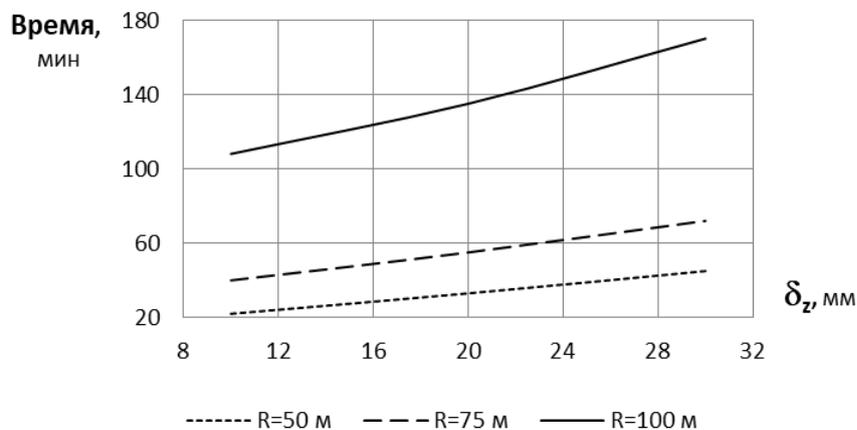


Рис. 9 – Зависимость времени достижения критической температуры арматуры в железобетонной стене от толщины защитного слоя тяжелого бетона от расстояния до геометрического центра пролива R при проливе известного объема бензина

Заключение

Разработанный программный продукт является средством комплексной методики оперативной оценки последствий воздействия теплового излучения пожаров пролива жидких горючих веществ, освоение которого не требует специальной подготовки. При этом за счет автоматизированного ввода необходимой справочной информации существенно снижается трудоемкость расчетов.

Принципиальное значение в данном программном комплексе имеет численная оценка возможных последствий воздействий опасного фактора пожара на различные объекты облучения при одном и том же варианте чрезвычайной ситуации.

Разработанная комплексная автоматизированная методика представляет профессиональный интерес не только для инженерно-технических работников Федеральной противопожарной службы МЧС России, но и для научно-преподавательского состава пожарно-технических вузов, занимающихся подготовкой инженеров пожарно-технического профиля и научными исследованиями в области обеспечения пожарной безопасности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы/ References

- СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям»;
- СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности»;
- СП 156.13130.2014 «Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности»;
- СП 231.1311500.2015 «Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности»;
- Еремина Т. Ю. Обзор программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров. / Т. Ю. Еремина, Д. А. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020 Т. 29. № 3. С.44-53.

6. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. / В. М. Ройтман // Ассоциация «Пожарная безопасность и наука». – 2001. – 382 с.
7. Фадеев В. Е. Исследование предела огнестойкости экранных стен / В. Е. Фадеев // Пожарная безопасность. – 2019. – № 2. – С. 49-53.
8. ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Приложение В «Метод расчета интенсивности теплового излучения при пожарах проливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей». – М: Стадартинформ, 2014. – 66 с. »
9. Методика расчета режимов прогрева строительных конструкций в условиях внутреннего пожара. / Н. Н. Романов, А. А. Кузьмин, А. А. Пермяков и др. // Вестник Мах. –2021. – №1. – с.84-93.
10. Теплофизические закономерности развития пожарной опасности на промышленных предприятиях и нефтегазовых объектах (Монография) / Д. Ю. Минкин, А. В. Федоров, Н. Н. Романов и др. // СПб университет ГПС МЧС России. – 2018. – 464 с.
11. Романов Н.Н. Автоматизация расчета температурного прогрева в ограждающих конструкциях при одностороннем огневом воздействии Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020667160, 21.12.2020 / Н. Н. Романов, А. А. Кузьмин, А. А. Пермяков. Заявка № 2020665819 от 01.12.2020.
12. Романов Н.Н. Автоматизация расчета безопасного расстояния от очага открытого пожара Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019664213, 1.11.2020 / Н. Н. Романов, А. А. Кузьмин, А. А. Пермяков. Заявка № 2019662959 от 21.10.2020.

Список литературы на английском языке/ References in English

1. SP 4.13130.2013 Sistemy protivopozharnoy zashchity. Ogranicheniye rasprostraneniya pozhara na obyektakh zashchity. Trebovaniya k obyemno-planirovochnym i konstruktivnym resheniyam [Fire protection systems. Limiting the spread of fire at protection facilities. Requirements for space-planning and design solutions]. [in Russian]
2. SP 155.13130.2014 Sklady nefti i nefteproduktov. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti [Warehouses of oil and petroleum products. Fire safety requirements]. [in Russian]
3. SP 156.13130.2014 Stantsii avtomobilnyye zapravochnyye. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti [Car refueling stations. Fire safety requirements]. [in Russian]
4. SP 231.1311500.2015 Obustroystvo neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti [Development of oil and gas fields. Fire safety requirements]. [in Russian]
5. Eremina T. Yu. Obzor programmogo obespecheniya rascheta ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy dlya razlichnykh modeley pozharov [Review of software for calculating the fire resistance of building structures for various models of fires]. / Eremina T.Yu., Korolchenko D.A. // Pozharovzryvobezopasnost [Fire and Explosion Safety]. – 2020. – Vol. 29. No. 3. – pp. 44-53.
6. Roitman V.M. Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proyektiruyemykh i rekonstruiruyemykh zdaniy [Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings]. / V.M. Roitman // Association "Fire Safety and Science". – 2001. – 382 p.
7. Fadeev V. E. Issledovaniye predela ognestoykosti ekrannykh sten [Investigation of the fire resistance limit of screen walls] / Fadeyev V. E. // Pozharnaya bezopasnost [Fire safety]. 2019. No. 2. pp. 49-53.
8. GOST R 12.3.047-2012 "Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control. Appendix B "Method for calculating the intensity of thermal radiation during fires of spills of flammable and combustible liquids". - Moscow: Stadartinform, 2014. - 66 p.
9. Metodika rascheta rezhimov progrena stroitelnykh konstruksiy v usloviyakh vnutrennego pozhara [Method of calculation of heating modes of building structures in conditions of internal fire]. / N. N. Romanov. A. A. Kuzmin. A .A. Permyakov et al. // Vestnik Max [Bulletin Max]. –2021. – №1. – pp.84-93.
10. Teplofizicheskiye zakonomernosti razvitiya pozharnoy opasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh i neftegazovykh obyektakh (Monografiya) [Thermophysical patterns of fire hazard development at industrial enterprises and oil and gas facilities (Monograph)]. / D. Yu. Minkin. A. V. Fedorov. N. N. Romanov et al. // SPb universitet GPS MChS Rossii [St. Petersburg University of GPS EMERCOM of Russia]. – 2018. – 464 с.
11. Romanov N.N. Avtomatizatsiya rascheta temperaturnogo progrena v ograzhdayushchikh konstruksiyakh pri odnostoronnem ognevom vozdeystvii Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM [Automation of calculation of temperature heating in enclosing structures with unilateral fire action Certificate of registration of the computer program] / N. N. Romanov. A. A. Kuzmin. A .A. Permyakov RU 2020667160, 12/21/2020. Application No. 2020665819 dated 01.12.2020. [in Russian]
12. Romanov N.N. Avtomatizatsiya rascheta bezopasnogo rasstoyaniya ot ochaga otkrytogo pozhara Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM [Automation of calculating the safe distance from the open fire source Certificate of registration of the computer program] / N. N. Romanov. A. A. Kuzmin. A .A. Permyakov. RU 2019664213, 1.11.2020. Application No. 2019662959 (dated 21.10.2020). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.014>

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ МАГАЗИНА ПО ПРОДАЖЕ ШОКОЛАДА

Научная статья

Павлова К.С.¹, Панюшкин П.В.², Горбаченко И.М.^{3,*}

³ ORCID: 0000-0001-6978-9335;

^{1, 2, 3} Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

* Корреспондирующий автор (irinag105[at]mail.ru)

Аннотация

В современном мире широко распространена электронная коммерция, т.е. покупка и продажа различных товаров через Интернет-магазины. В работе приведен сравнительный анализ функциональных возможностей нескольких Интернет-магазинов, продающих шоколадные изделия. Для хранения информации о различных товарах используются базы данных. В данной работе рассматриваются вопросы проектирования и разработки реляционной базы данных для хранения информации о шоколадной продукции, продаваемой через Интернет-магазин. Приводится пример построения логической и физической модели, диаграммы прецедентов и схемы данных. В работе также приведен пример реализации интерфейса взаимодействия пользователя с системой управления базой данных.

Ключевые слова: анализ предметной области, реляционная база данных, системы управления базами данных, проектирование базы данных, модель данных.

DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR A CHOCOLATE STORE

Research article

Pavlova K.S.¹, Panyushkin P.V.², Gorbachenko I.M.^{3,*}

³ ORCID: 0000-0001-6978-9335;

^{1, 2, 3} Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

* Corresponding author (irinag105[at]mail.ru)

Abstract

Today, e-commerce is widespread, i.e. the purchase and sale of various goods through online stores. The paper presents a comparative analysis of the functionality of several online stores selling chocolate products. Databases are used to store information about various products. The author discusses the design and development of a relational database for storing information about chocolate products sold through an online store. The study provides an example of the construction of a logical and physical model along with a precedent diagram and a data scheme. The paper also provides an example of the implementation of the user interaction interface with the database management system.

Keywords: domain analysis, relational database, database management systems, database design, data model.

Введение

Уже очень долгое время шоколад является популярным лакомством для взрослых и детей. В современном мире покупка – продажа товаров часто производится удаленно через компьютерную сеть Интернет в так называемом Интернет-магазине. Интернет-магазин – сайт, торгующий товарами в интернете. Использование данного программного средства позволяет пользователям сформировать заказ на покупку, выбрать способ оплаты и доставки заказа в сети Интернет [1]. Деятельность интернет-магазина подразумевает отсутствие реального торгового помещения. Но при этом на сайте требуется визуальная демонстрация предлагаемых товаров с помощью размещения на сайте изображений этих товаров, описания их характеристик, а также работа онлайн консультантов [2].

Для этого можно использовать специализированные сайты, представляющие собой информационные системы с хранением необходимой информации в базе данных. Эта база данных может включать в себя характеристики товара (в данном случае шоколада), количество имеющегося товара, цену и другую информацию. Преимуществом такого хранения информации является то, что базой данных можно воспользоваться в любое время. Кроме того, имеется возможность использовать фильтр, с помощью которого можно найти какую-то определенную информацию, ошибок в списке заказа становится намного меньше, можно легко выводить отчеты по нужной информации.

Разработка базы данных является не простой деятельностью. Например, вопросам создания различных баз данных посвящены работы Андреевских Дарьи Алексеевны и Разбойникова Сергея Дмитриевича [2], Львович Якова Евсеевича [3], Тижаниной Лидии Александровны [4], Авиновой Екатерины Юрьевны и Михайлова Павлы Геннадьевны [5], а также других авторов.

В данной статье проводится методика создания базы данных, которая хранит информацию по продаже шоколада. Наличие базы данных позволяет клиенту просмотреть товар в каталоге, выбрать вкус, вид и марку шоколада, посмотреть другую информацию по шоколадной продукции.

Работа с базой данных

Разрабатываемая информационная система должна быть действующей непрерывно, легкодоступной, а также выводить точную информацию.

База данных должна быть оперативной в использовании, разрабатываемая информационная система с интуитивно понятным интерфейсом.

Разрабатываемая база данных для магазина шоколада должна позволить хранить, обрабатывать и передавать информацию о разных марках шоколада, характеристики видов шоколада. При этом данная информация должна иметь удобный для восприятия пользователем вид. Заполнение базы данных будет осуществляться администраторами магазинов, продавцами.

Таким образом, в информационной системе (интернет-магазине по продаже любого товара) должны быть реализованы основные функции:

- ввод, хранение информации по товару (например, шоколаду),
- поиск по данным товара (например, весу, цене),
- возможность сохранения выбора,
- оформление продажи [6], [7], [8].

Администратор информационной системы добавляет, удаляет и изменяет (редактирует) всю информацию, находящуюся в базе данных, войдя в систему с уровнем доступа «Администратор».

Работа информационной системы со стороны клиентов происходит следующим образом: клиенты просматривают и изучают все виды шоколада в базе данных, войдя в систему с уровнем доступа «Пользователь», выбирают нужный товар и делают заказ. Далее они могут распечатать заказ и произвести оплату через систему on-line платежей.

Сравнительная характеристика аналогичных систем

Как было сказано ранее, интернет-магазинов много. Все они используют базы данных для хранения требуемой информации. Необходимо разобраться какую информацию обязательно иметь в базе данных.

Для интернет-магазина на главной странице рекомендуется размещать следующую информацию:

- категории товара;
- функциональный поиск с возможностью сортировки товара по цене, вкусу или другому критерию;
- условия доставки товара (стоимость, сроки, способы, возможность мониторинга статуса доставки);
- способы оплаты покупки;
- наличие онлайн-консультаций и контактного центра и другое [7].

Сайтов и информационных систем, связанных с продажей товаров (в частности шоколада), существует достаточно много. Например, это сайт компании по производству шоколадной продукции «SHOKOBOX» (shokobox.ru), сайт Кондитерской фабрики «Победа» (store.pobedavkusa.ru), сайт Кондитерской фабрики «Верность Качеству» (shokoladki.ru), сайт Кулинарного бутика «Боффо-гурме» (boffo.ru).

Внешний вид одного из сайтов приведен далее (см. рисунок 1).

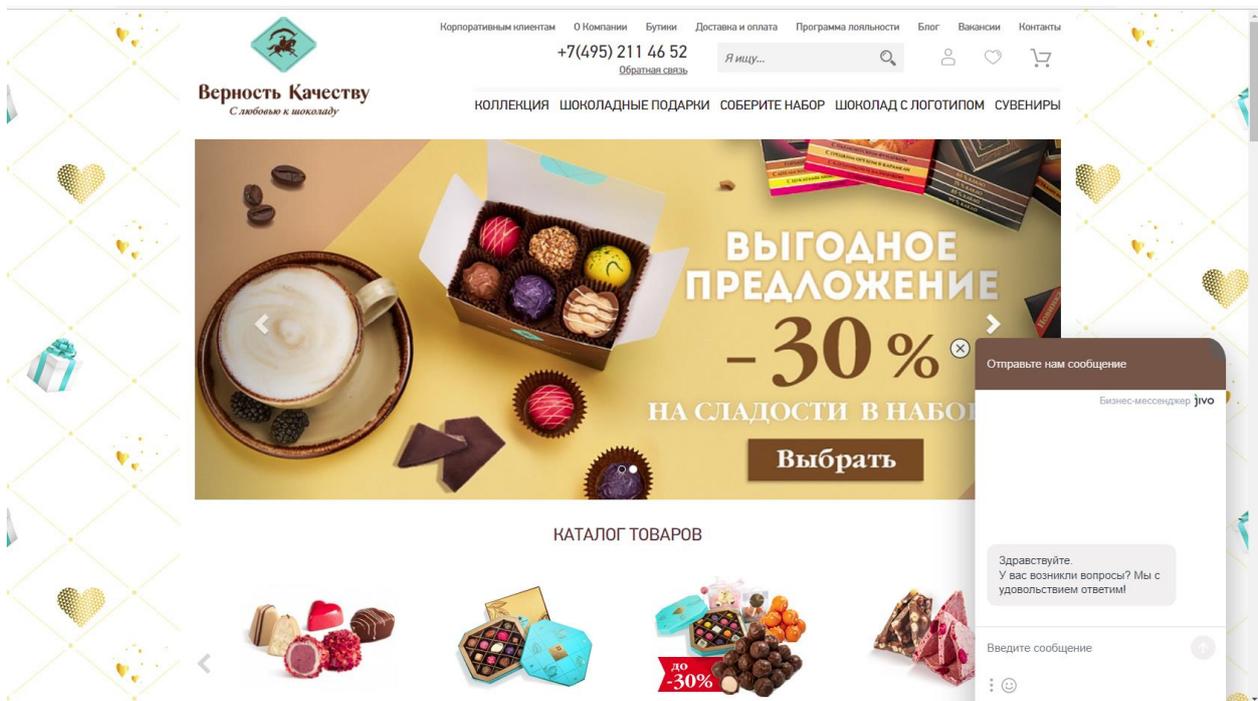


Рис. 1 – Внешний вид сайт Кондитерской фабрики «Верность качеству»

В целом, обнаруженные аналоги достаточно хорошо разработаны и выполняют требуемые функции, которые указаны выше.

Анализ работы и структуры указанных сайтов рассмотрен ниже (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Сравнение сайтов

Параметры	shokobox.ru	store.pobedavkusa.ru	boffo.ru	shokoladki.ru
Читаемость текста	-	+	-	-
Понятный интерфейс	+	-	-	+
Наличие общей информации о шоколаде	+	-	+	+
Наличие иллюстраций	+	+	+	+
Наличие системы поиска информации	-	-	+	+
Наличие информации о цене продукции	+	+	+	+
Наличие информации о руководстве организации	+	-	-	-
Наличие системы сортировки информации о товаре	+	+	+	+
Наличие чата для обратной связи	+	-	-	+
Подробное описание системы оплаты и процедуры доставки	+	+	-	+
Дизайн страницы	+	-	+	-

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что на большинстве сайтов плохая читаемость текста, отсутствует информация о руководстве организации. На многих сайтах присутствуют иллюстрации товара (т.е. шоколада). Обязательно имеется сведения о цене шоколада, имеется систем поиска нужной информации (иногда сама структура сайта имеет группировку товаров по определенным категориям).

Проведя анализ информации, содержащейся на указанных сайтах, был сделан вывод, то база данных для информационной системы по продаже шоколада должна содержать:

1. Сведения о товарах, содержащие в себе: код шоколада, название вкуса (орех, вишня, миндаль, фундук и другие вкусы), название вида шоколада (молочный, белый, черный), название марки (Alpen Gold, Riter Sport, Milka, Dove и другие марки), наименование производителя (Германия, Россия), вес, цену, фотографию и состав.

2. Сведения о продаже товаров, содержащие в себе: код покупки, код товара, количество товара, сумму покупки и время покупки. Желательно иметь возможность использования электронной подписи для подтверждения покупки.

Построение модели данных

Наличие моделей данных необходимо при разработке баз данных. С помощью модели данных могут быть представлены информационные объекты и взаимосвязи между ними [10], [11], [12].

В зависимости от степени абстрагирования данных выделяют три уровня представления данных: концептуальный уровень, логический и физический [10], [11], [12], [13].

Концептуальный уровень – это семантический (смысловой) уровень представления данных в виде абстрактных понятий, учитывающих особенности предметной области [11], [12], [13].

На концептуальном уровне представления данных используются различные модели данных, в частности модель сущность-связь и семантическая иерархическая модель.

Модель сущность-связь для разрабатываемой базы данных изображена ниже (см. рисунок 2).

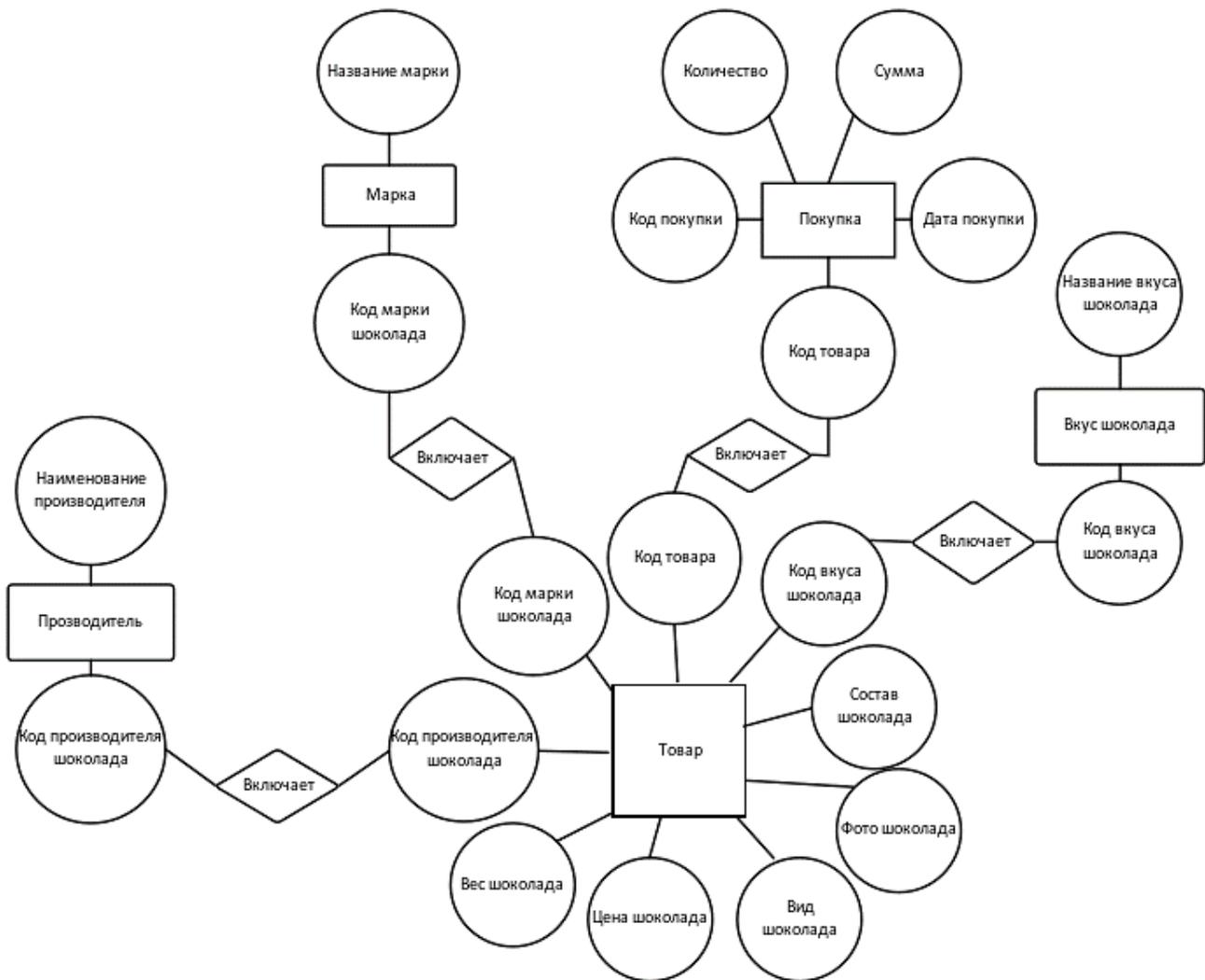


Рис. 2 – Концептуальная модель базы данных

Таким образом, в модели выявлены следующие сущности: товар, вкус шоколада, страна-производитель шоколада, марка шоколада и покупка шоколада.

Между этими сущностями существуют связи:

- товар имеет страну изготовления,
- товар имеет марку,
- товар имеет вкус,
- заказ имеет товар.

Построение логической модели

Концептуальная модель транслируется затем в модель данных, совместимую с выбранной системой управления базой данных (СУБД) для дальнейшего физического создания базы данных. Версия концептуальной модели, которая может быть обеспечена конкретной СУБД, называется логической моделью.

Логическая модель отражает логические связи между элементами данных вне зависимости от их содержания и среды хранения.

Логическая модель данных может быть реляционной, иерархической или сетевой.

Реляционная модель требует изучения взаимосвязей между полями таблицы [12], [13], [14], [15]. На рисунке 3 представлена реляционная модель базы данных.

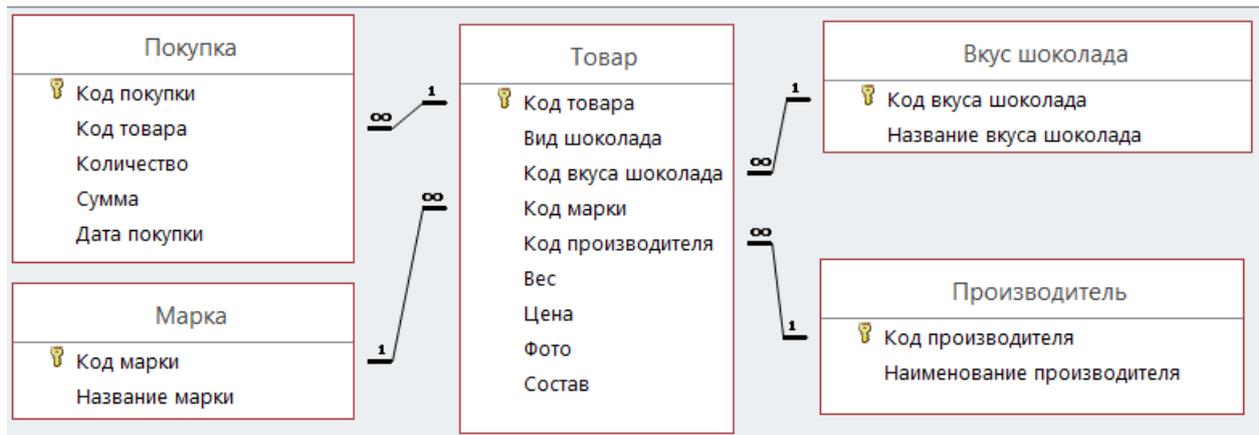


Рис. 3 – Реляционная модель базы данных

Из созданной модели видно, что требуется наличие как минимум 5-ти таблиц в базе данных. Это количество соответствует выявленным ранее сущностям.

Разработка и проектирование физической модели

Для привязки логической модели к среде хранения используется модель данных физического уровня, для краткости часто называемая физической моделью. Физическая модель базы данных определяет способ размещения данных в среде хранения и способы доступа к этим данным, которые поддерживаются на физическом уровне. Физическая модель, определяющая размещение данных, методы доступа и технику индексирования, называется внутренней моделью системы. Построение модели базы данных производится на основе логической модели [11], [12], [13].

Физическая модель базы данных содержит все детали, необходимые конкретной СУБД для создания базы: наименования таблиц и столбцов, типы данных, определения первичных и внешних ключей и т.п. [12], [13].

Физическая модель строится на основе логической с учетом ограничений, накладываемых возможностями выбранной СУБД (например, MS SQL Server 2012).

На этапе физического моделирования производятся оценка требований к вычислительным ресурсам, необходимым для функционирования системы, выбор типа и конфигурации ЭВМ, типа и версии операционной системы. Выбор зависит от таких показателей, как:

- примерный объем данных в БД;
- динамика роста объема данных;
- характер запросов к данным (извлечение и обновление отдельных записей, обработка групп записей, обработка отдельных отношений или соединение отношений);
- интенсивность запросов к данным и других [14], [15].

Физическая модель разработанной базы данных представлена на рисунке ниже (см. рисунок 3).

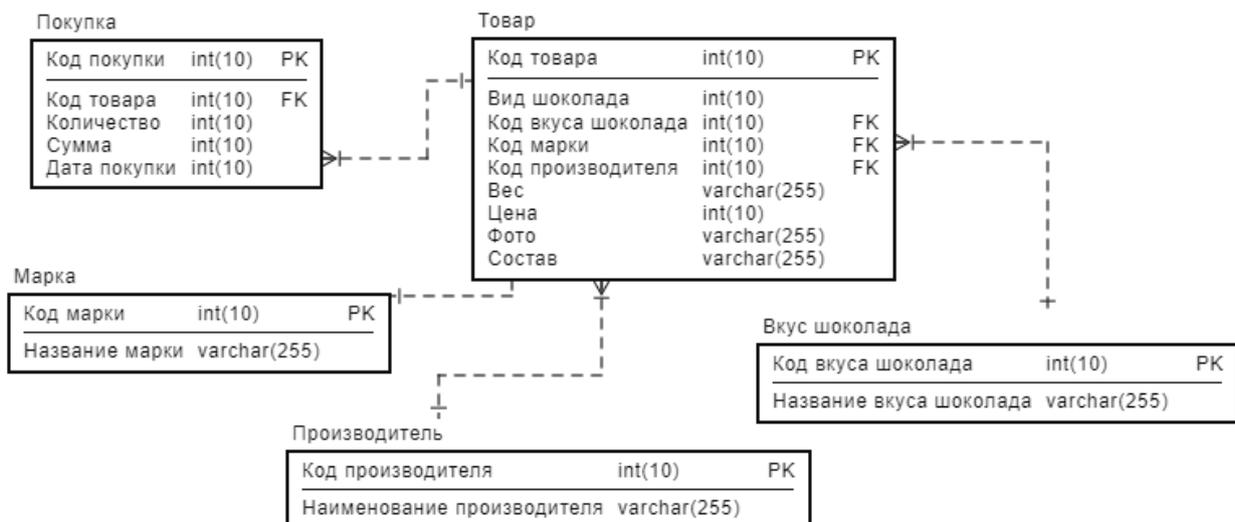


Рис. 4 – Физическая модель базы данных

Построение диаграммы прецедентов

Для описания функционирования Интернет-магазина как информационной системы можно использовать язык Universal Modeling Language (UML).

UML - универсальный язык моделирования, который был разработан компанией Rational Software с целью создания наиболее оптимального и универсального языка для описания как предметной области, так и конкретной задачи в программировании.

Диаграмм UML существует 8 видов. В данной работе была создана диаграмма прецедентов. Диаграммы прецедентов применяются для моделирования вида системы с точки зрения внешнего наблюдателя. На диаграмме прецедентов графически показана совокупность прецедентов и Субъектов, а также отношения между ними. Диаграмма прецедентов показана ниже (см. рисунок 4).

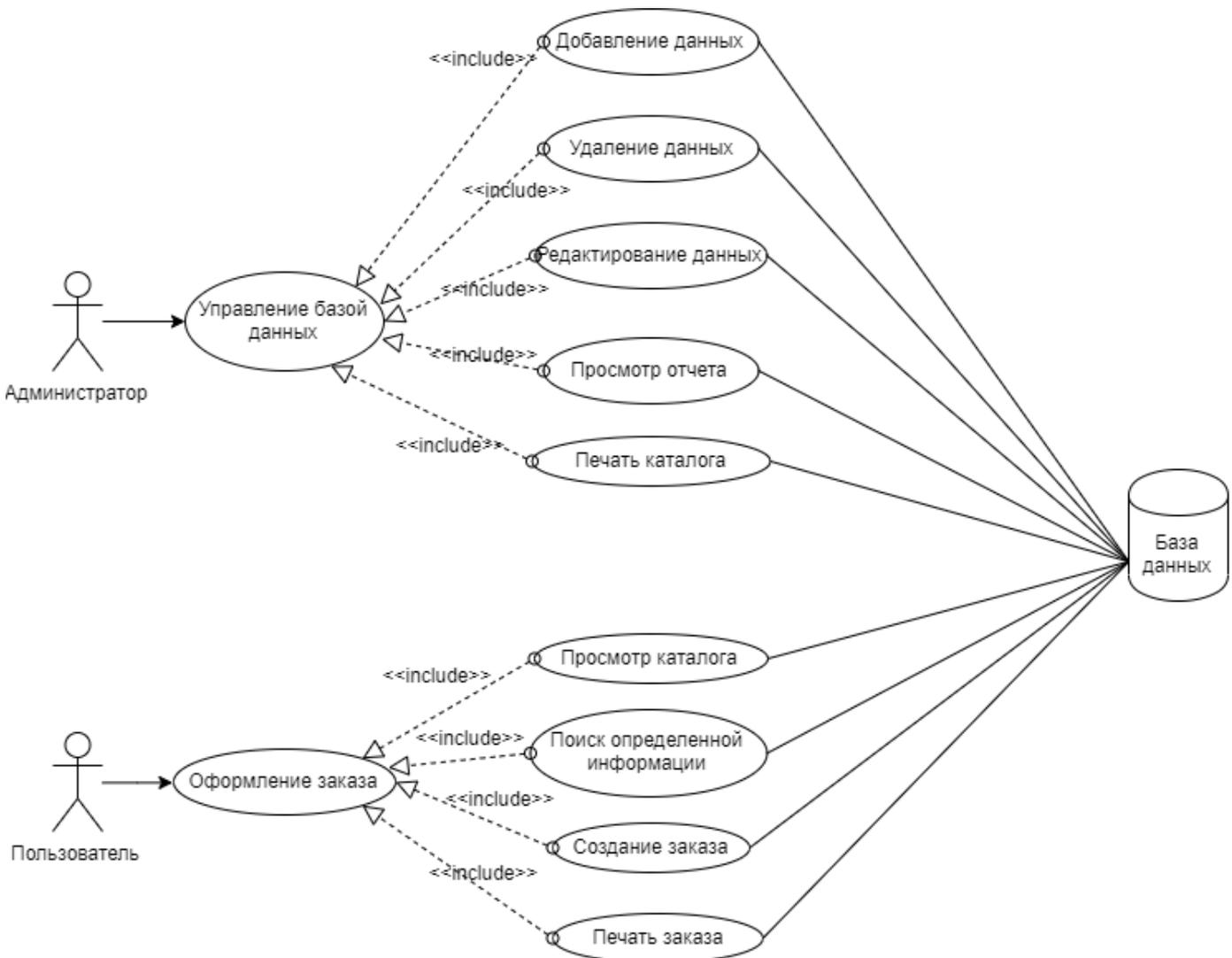


Рис. 5 – Диаграмма прецедентов базы данных

На разработанной диаграмме прецедентов видно, что существуют две различные роли – пользователь и администратор.

Разработка и проектирование пользовательского интерфейса

Согласно диаграмме прецедентов (см. рисунок 4) был создан сайт интернет-магазина. Главная страница сайта магазина продемонстрирована ниже (см. рисунок 5).

На этой странице имеется специальная кнопка «администратор», нажав на которую можно перейти в окно администратора, где можно редактировать (добавлять, удалять, изменять) данные о шоколаде, а также добавлять фото и переходить в каталог, чтобы просмотреть товары перейти на страницу для администратора возможно только после введения правильного пароля.

Без регистрации в системе можно посмотреть список товаров (шоколадных изделий) с помощью кнопки «каталог», т.е. пользователь может посмотреть всю необходимую информацию о шоколаде. Кроме того, на главной странице имеются кнопки «справка» и «выход из системы».



Рис. 5 – Главная страница сайта

Форма окна «Каталог» изображена ниже (см. рисунок 6). На этой странице сайта отображается вся информация о шоколаде для покупателя. Кроме того, на этой странице имеется фильтр, с помощью которого можно выбрать фиксированную цену, либо определенное название марки, вкуса или страны-производителя. После выбора товара необходимо нажать на кнопку «Выбор», чтобы появилась галочка.

Вид шоколада	Название вкуса	Название марки	Название страны	Вес	Цена	Фото	Выбор
Молочный	Капучино	Alpen Gold	Россия	100	79,00р.		<input checked="" type="checkbox"/>
Молочный	Карамель, мармелад,	Alpen Gold	Россия	100	145,00р.		<input type="checkbox"/>

Рис. 6 – Страница «Товар»

Страница сайта для работы администратора показана далее (см. рисунок 7). На этой странице можно полностью контролировать работу с базой данной, а именно добавление, удаление, изменение информации о товаре.

Код товара: 10

Вид шоколада: Молочный

Название вкуса: Вишня и миндаль

Марка: Alpen Gold

Страна: Россия

Вес: 100

Цена: 79,00р.

Добавить запись

Сохранить

Удалить запись

Открыть каталог

Закреть

Чтобы добавить фото, нужно нажать правой кнопкой мыши и выбрать "Вставить объект", далее выбрать Тип объекта "Bitmap Image", нажать ОК. Далее вставить рисунок и нажать на крестик

Рис. 7 – Страница «Администратор»

В созданном Интернет-магазине имеется справочная система (см. рисунок 8). В ней можно найти необходимую информацию о пользовании базой данных. Так же представлена информация обо всех имеющихся кнопках и о способах перехода. Справочная система предназначена для получения пользователем максимально точной информации по интересующему его вопросу.

В базе данных справочная система содержит описание того, как работать с каталогом, как сделать заказ, выбрать количество, посмотреть результат выбранного товара и распечатать, а также как выйти из системы «Каталог».

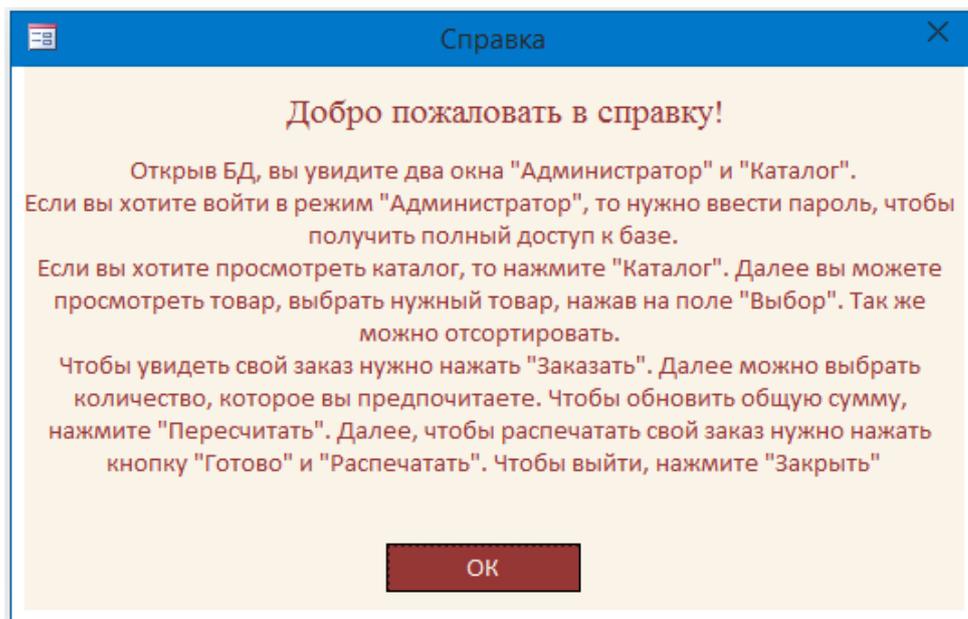


Рис. 8 – Справочная система

Таким образом, все требуемые функции интернет-магазина реализованы.

Заключение

В ходе работы были разработаны логическая и физическая схемы базы данных. Каждому атрибуту был подобран оптимальный тип данных.

На основе схем была спроектирована база данных для магазина по продаже шоколада. Были сформированы формы и отчеты, которые позволяют пользователю работать с представлениями базы данных в удобном для него виде.

Предлагаемый в работе порядок для создания базы данных представляет собой методичку, которую можно использовать при разработке аналогичных систем хранения информации.

Разработанную базу данных предполагается использовать в интернет-магазинах, занимающихся продажей шоколада. Пользователями данной системы будут являться администраторы магазина и покупатели, используя данную информационную систему, организация сокращает время на обработку поиска необходимой информации.

Таким образом, разработана информационная система с базой данных, представляющая собой интернет-магазин по продаже шоколада.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шваб В. М. Электронная коммерция: организация и принцип работы интернет-магазина / В. М. Шваб // Актуальные вопросы экономических наук. – 2013. – № 30. – С. 70-74.
2. Андреевских Д. А. Создание базы данных рукописных подписей для разработки и исследования алгоритмов аутентификации субъекта / Д. А. Андреевских, С. Д. Разбойников // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2020. – № 1-2. – С. 73-76.
3. Львович Я. Е. Разработка базы данных для мониторинга медико-социальных характеристик и прогностического моделирования / Я. Е. Львович // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : сборник научных трудов XV-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 19–20 марта 2020 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 191-194.
4. Тижанина Л. А. Разработка базы данных для проектирования женских пальто с использованием принципа комбинаторики / Л. А. Тижанина // Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2018 : Сборник научных трудов 5-й Международной молодежной научной конференции. В 2-х томах, Курск, 20–21 сентября 2018 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2018. – С. 341-344.
5. Авинова Е. Ю. Разработка алгоритма и базы данных для классификации грузов с опасными химическими веществами / Е. Ю. Авинова, П. Г. Михайлова // Успехи в химии и химической технологии. – 2019. – Т. 33. – № 11(221). – С. 6-8.
6. Кондакова Э. А. Организация электронной коммерческой деятельности на примере интернет-магазина "Гараж Сэйл" ("Garage sale") / Э. А. Кондакова, А. А. Петухова // Молодые лидеры - 2016 : материалы I международного конкурса выпускных квалификационных и курсовых работ, Казань, 10 октября 2016 года / Научно-образовательный центр "Знание". – Казань: Рокета Союз, 2016. – С. 379-383.
7. Мелехова А. С. Развитие рынка электронной коммерции (на примере разработки и реализации проекта интернет-магазина детских товаров) / А. С. Мелехова // Вестник российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова». 2017. - № 4(94). – С. 111 – 119.
8. Бурмистрова Н. В. Реализация возможностей электронной коммерции при разработке интернет-магазинов с помощью системы управления контентом WordPress / Н. В. Бурмистрова, П. Д. Кольцова, Д. К. Кондопулос // Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского : Материалы региональной университетской научно-практической конференции, Калуга, 17–18 апреля 2019 года. – Калуга: ФГБОУ ВПО "Калужский государственный университет им. К.Э.Циолковского", 2019. – С. 467-471.
9. Допира Р. И. Технология разработки интернет-магазина / Р. И. Допира, Н. В. Попова, К. М. Базикова // Научный журнал. – 2016. – № 1(2). – С. 9-11.
10. Хансен Г. Базы данных: разработка и управление / Г. Хансен. – Москва : Издательство «БИНОМ», 2013 – 199 с.
11. Хомоненко А. Д. Базы данных: Учебник для высших учебных заведений / А. Д. Хомоненко, В. М. Цыганков, М. Г. Мальцев; Под ред. проф. А. Д. Хомоненко. — 6-е изд., доп. – Санкт-Петербург: КОРОНА-Век, 2009. - 736 с.
12. Карпова И. П. Базы данных. Курс лекций и материалы для практических заданий : Учебное пособие / И. П. Карпова. – Москва: Питер, 2013. – 240 с.
13. Кузин А. В. Базы данных: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. В. Кузин, С. В. Левонисова. — 5-е изд., испр. — Москва : Издательский центр «Академия», 2012. — 320 с. — (Сер. Бакалавриат).
14. Горев А. Эффективная работа с СУБД / А. Горев. – Санкт-Петербург : Питер, 2015 – 65 с.
15. Дейт К. Введение в системы баз данных / К. Дейт. – Санкт-Петербург : Издательский дом «Вильямс», 2012 – 115 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shvab V. M. Jelektronnaja kommersija: organizacija i princip raboty internet-magazina [Electronic commerce: organization and operation principle of an online store] / V. M. Shvab // Aktual'nye voprosy jekonomicheskijh nauk [Actual issues of economic sciences]. – 2013. – № 30. – P. 70-74. [in Russian]
2. Andreevskikh D. A. Sozdanie bazy dannyh rukopisnyh podpisей dlya razrabotki i issledovaniya algoritmov autentifikacii sub"ekta [Creation of a database of handwritten signatures for the development and research of subject authentication algorithms] / D. A. Andreevskikh, S. D. Razboynikov // Sbornik izbrannyh statej nauchnoj sessii TUSUR [Collection of selected articles of the TUSUR scientific session]. - 2020. - № 1-2. - P. 73-76. [in Russian]
3. Lvovich Ya. E. Razrabotka bazy dannyh dlya monitoringa mediko-social'nyh harakteristik i prognosticheskogo modelirovaniya [Development of a database for monitoring medical and social characteristics and predictive modeling] / Ya. E. Lvovich // Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tekhnologii i innovacii : sbornik nauchnyh trudov XV-oy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kursk, 19–20 marta 2020 goda. [Modern instrumental systems, information technologies and innovations: a collection of scientific papers of the XV-th International scientific and practical conference, Kursk, March 19–20, 2020]. - Kursk: Southwestern State University, 2020. - P. 191-194. [in Russian]
4. Tizhanina L. A. Razrabotka bazy dannyh dlya proektirovaniya zhenskih pal'to s ispol'zovaniem principa kombinatoriki [Development of a database for designing women's coats using the principle of combinatorics] / L. A. Tizhanina // Yunost' i Znaniya - Garantiya Uspekha - 2018 : Sbornik nauchnyh trudov 5-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii. V 2-h tomah, Kursk, 20–21 sentyabrya 2018 goda [Youth and Knowledge - Guarantee of Success - 2018: Collection of scientific papers of the 5th International Youth Scientific Conference. In 2 volumes, Kursk, September 20–21, 2018] / Managing editor A. A. Gorokhov. - Kursk: Closed Joint Stock Company "Universitetskaya kniga", 2018. - P. 341-344. [in Russian]

5. Avinova E. Yu. Razrabotka algoritma i bazy dannyh dlya klassifikacii gruzov s opasnymi himicheskimi veshchestvami [Development of an algorithm and database for the classification of cargoes with hazardous chemicals] / E. Yu. Avinova, P. G. Mikhailova // Uspekhi v himii i himicheskoi tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]. - 2019. - Vol. 33. - No. 11 (221). - P. 6-8. [in Russian]
6. Kondakova E. A. Organizacija jelektronnoj kommercheskoj dejatel'nosti na primere internet-magazina "Garazh Sjejl" ("Garage sale") [Organization of electronic commercial activity on the example of the online store "Garage Sale"] / E. A. Kondakova, A. A. Petukhova // Young leaders - 2016: materials of the I international competition graduation qualification and term papers, Kazan, October 10, 2016 / Scientific and educational center "Knowledge". - Kazan: Rocket Soyuz, 2016. - P. 379-383. [in Russian]
7. Melehova A. S. Razvitie rynka jelektronnoj kommercii (na primere razrabotki i realizacii proekta internet-magazina detskih tovarov) [Development of the e-commerce market (on the example of the development and implementation of the project of an online store for children's goods)] / A.S. Melehova // Vestnik rossijskogo jekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plehanova [Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov]. – Moscow: FGBOU VO «RJeU im. G. V. Plehanova». 2017. - № 4(94). – P. 111 – 119. [in Russian]
8. Burmistrova N. V. Realizacija vozmozhnostej jelektronnoj kommercii pri razrabotke internet-magazinov s pomoshh'ju sistemy upravlenija kontentom WordPress [Realization of e-commerce opportunities in the development of online stores using the WordPress content management system] / N. V. Burmistrova, P. D. Kol'cova, D. K. Kondopulos // Nauchnye trudy Kaluzhskogo gosudarstvennogo universiteta imeni K.Je. Ciolkovskogo : Materialy regional'noj universitetskoj nauchno-prakticheskoi konferencii, Kaluga, 17–18 aprelja 2019 goda [Scientific works of Kaluga State University named after K. .E. Tsiolkovsky: Proceedings of the regional university scientific and practical conference, Kaluga, April 17–18, 2019.]. – Kaluga: FBGOU VPO "Kaluzhskij gosudarstvennyj universitet im. K.Je.Ciolkovskogo", 2019. – P. 467-471. [in Russian]
9. Dopira R. I. Tehnologija razrabotki internet-magazina [Technology for developing an online store] / R. I. Dopira, N. V. Popova, K. M. Bazikova // Nauchnyj zhurnal [Scientific journal]. – 2016. – № 1(2). – P. 9-11. [in Russian]
10. Hansen G. Bazy dannyh: razrabotka i upravlenie [Databases: development and management] / G. Hansen. – Moscow: Publishing house "BINOM", 2013 – 199 p. [in Russian]
11. Homonenko A. D. Bazy dannyh: Uchebnik dlja vysshih uchebnyh zavedenij [Databases: Textbook for higher educational institutions] / A. D. Homonenko, V. M. Cygankov, M. G. Mal'cev. – St. Petersburg: KORONA-Vek, 2009. – 736 p. [in Russian]
12. Karpova I. P. Bazy dannyh. Kurs lekcij i materialy dlja prakticheskikh zadaniij : Uchebnoe posobie [Course of lectures and materials for practical tasks: Textbook] / I. P. Karpova. – Moscow: Piter, 2013. – 240 p. [in Russian]
13. Kuzin A. V. Bazy dannyh: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij [Databases: textbook. allowance for students. higher textbook institutions] / A. V. Kuzin, S. V. Levonisova. – Moscow: Publishing Center "Academy", 2012. – 320 p. [in Russian]
14. Gorev A. Jeffektivnaja rabota s SUBD [Effective work with DBMS] / A. Gorev. – Sankt-Peterburg : Piter, 2015 – 65 p. [in Russian]
15. Date K. Vvedenie v sistemy baz dannyh [Introduction to database systems] / K. Date. – St. Petersburg: Williams Publishing House, 2012 – 115 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.015>

РАССМОТРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ЛИСТВЕННИЦЫ

Обзорная статья

Пировских Е.А.¹, Бегунков О.И.^{2,*}, Бегункова Н.О.³

² ORCID: 0000-0002-5046-4212;

³ ORCID: 0000-0001-5069-9604;

¹ ООО «Инко», Хабаровск, Россия;

^{2,3} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (olegbeg[at]mail.ru)

Аннотация

Основу развития внутреннего рынка пиломатериалов должны составлять сухие пиломатериалы. На всех территориях Дальнего Востока, кроме Приморского края, лидирующее место по распространению с колоссальным преимуществом занимает лиственница, которая имеет большее количество особенностей в сравнении с такими породами как сосна, ель, пихта. Однако особенности анатомического строения лиственницы накладывают ряд существенных ограничений на ее сушку и переработку. Трудности сушки лиственницы усугубляются еще более низкой влажностью этой древесины, чем у ели и сосны, поэтому системе регулирования процесса сушки необходимо уделять самое пристальное внимание. Из существующих, наиболее подходят для качественной сушки лиственницы системы регулирования, выпускаемые в ООО «ЕнисейПромАвтоматика».

Ключевые слова: сушка, пиломатериал, режим, лиственница.

AN ASSESSMENT OF THE RESULTS OF THE STUDY OF THE DRYING PROCESSES OF LUMBER FROM LARCH

Review article

Pirovskikh E.A.¹, Begunkov O.I.^{2,*}, Begunkova N.O.³

² ORCID: 0000-0002-5046-4212;

³ ORCID: 0000-0001-5069-9604;

¹ Inko LLC, Khabarovsk, Russia;

^{2,3} Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (olegbeg[at]mail.ru)

Abstract

The basis for the development of the domestic lumber market should be dry lumber. In all territories of the Russian Far East, except the Primorsky Krai, the leading place in distribution with a huge advantage is occupied by larch, which has a greater number of features in comparison with such breeds as pine, spruce, fir. However, the features of the anatomical structure of larch impose a number of significant restrictions on its drying and processing. The difficulties of drying larch are aggravated by the even lower moisture conductivity of this wood than that of spruce and pine, therefore, the system of regulating the drying process must be given the closest attention. Out of the existing ones, the most suitable for high-quality drying of larch are the control systems manufactured by LLC "Yeniseipromavtomatika".

Keywords: drying, lumber, mode, larch.

Введение

В сложившихся сегодня условиях наложения жестких санкций одной из первостепенных задач, стоящих перед деревообрабатывающими предприятиями, является развитие внутреннего рынка пиломатериалов.

Развивая глубокую переработку древесины, необходимо учитывать, что национальной древесной породой России является лиственница [1]. Удивительные свойства лиственницы были известны миру еще со времен строительства города на воде – Венеции [2]. По физико-механическим свойствам лиственница лишь незначительно уступает дубу, а по такому показателю как влажностойкость не имеет себе равных. Несмотря на широкие возможности использования древесины лиственницы, ее доля в общем объеме переработки древесины мала и не соответствует ресурсам.

Лиственница не поддается атмосферной сушке. Как отмечает В. П. Голицын [3], по сложности сушки лиственницы можно сравнить с сушкой дуба. Атмосферная подсушка лиственницы перед камерной сушкой ведет к короблению материала, образованию глубоких «паутинных» и торцовых трещин. Досушка таких пиломатериалов в камерах приводит к появлению дефектов: мелкие трещины значительно разрастаются и до 30 % пиломатериалов становятся непригодными для дальнейшей переработки [4].

Сушка древесины в этом процессе стоит на одном из первых мест. В настоящем обзоре рассмотрены результаты работы авторов по обоснованию режимов сушки пиломатериалов из лиственницы.

Основная часть

Одна из последних разработок профессора МГУЛ А. И. Расева посвящена сушке лиственницы [5], [6]. Суть ее состоит в следующем.

Сушка древесины проводится циклами, каждый из которых включает две стадии: «импульс» и «пауза».

На стадии импульса происходит аккумулирование тепла материалом; сушка проходит в воздухе повышенной температуры и низкой влажности при циркуляции сушильного агента через штабель. Приточно-вытяжные каналы открыты. Эта стадия характеризуется высокой интенсивностью процесса за счет большого градиента влажности по толщине материала. Ввиду малой продолжительности возникающие сушильные напряжения сравнительно малы, а

деформации носят, в основном, упругий характер.

На стадии паузы теплообменники и вентиляционная установка отключены. Приточно-вытяжные каналы могут оставаться открытыми. Для этой стадии характерно:

- возрастание степени насыщенности воздуха вследствие продолжающегося испарения воды из материала;
- увлажнение поверхности древесины из-за роста величины равновесной влажности, что ведет к выравниванию влажности по толщине материала и снижению сушильных напряжений;
- понижение температуры на поверхности материала, что приводит к появлению положительного градиента температуры, ускоряющего движение влаги к поверхности. Это полностью компенсирует некоторое снижение интенсивности перемещения воды при понижении градиента влажности.

Число циклов зависит от характеристики материала: его породы, толщины, начальной и конечной влажности.

Приведенная ниже таблица 1 режимов сушки составлена с учетом обеспечения бездефектной сушки при практически полном сохранении природной прочности древесины с возможным незначительным изменением ее цвета.

Мы считаем, что эти режимы оправдают себя на камерах с низким уровнем автоматизации, где регулируется только температура, увлажнение отсутствует, а приточно-вытяжные каналы управляются вручную. Необходимо эти камеры дополнить простейшей автоматикой управления вентиляторами.

На наш взгляд трудности сушки лиственницы усугубляются еще более низкой теплопроводностью этой древесины, чем у ели и сосны. Попытки качественной сушки лиственницы в вакуумных камерах с конвективным и кондуктивным нагревом к успеху не привели, так как в материале сохраняются значительные остаточные напряжения, которые вполне реально могут реализоваться в готовом изделии.

Таблица 1 – Режимы сушки пиломатериалов из древесины лиственницы

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		16 19	22 25	32 40	50	60
>35	Продолжительность ($\tau_{им}$) импульса (вентиляторы включены), час	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	Температура (t°), $^\circ\text{C}$	75	75	70	65	65
	Продолжительность ($\tau_{пау}$) паузы (вентиляторы выключены), час	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
35 – 20	Продолжительность ($\tau_{им}$) импульса (вентиляторы включены), час	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	Температура (t°), $^\circ\text{C}$	65	65	65	70	70
	Продолжительность ($\tau_{пау}$) паузы (вентиляторы выключены), час	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
< 20	Продолжительность ($\tau_{им}$) импульса (вентиляторы включены), час	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	Температура (t°), $^\circ\text{C}$	75	75	70	75	75
	Продолжительность ($\tau_{пау}$) паузы (вентиляторы выключены), час	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Для исследований в области сушки лиственницы в СССР была образована отраслевая лаборатория сушки лиственницы при кафедре теплотехники Сибирского технологического института. Исследования, проводимые в этой лаборатории на протяжении более 10 лет, показали реальную возможность качественной сушки пиломатериалов из лиственницы толщиной до 50 мм включительно при температуре до 90°C . В этих работах отмечалась первостепенная роль качества проведения начального прогрева древесины и начальной стадии сушки, то есть процессов, проходящих при больших значениях относительной влажности сушильного агента [7], [8], [9].

Для практической реализации этого посыла авторами была разработана трехпараметровая система регулирования параметров сушильного агента. Эта система позволила оптимизировать выход на режим начального прогрева, качественно вести процесс начального прогрева и сушки при больших значениях относительной влажности сушильного агента. Данная система основана на психрометрическом способе измерения параметров сушильного агента и была апробирована на лесосушильной камере в ООО «Партнер» на Сахалине с очень хорошими результатами. Далее эта система была внедрена в ООО «Сахлес» на камерах фирмы Inconlan для сушки елового бруса 150×150 мм, который профилировался для малоэтажного домостроения. Суть этой системы заключается в том, что в общепринятую систему регулирования по температуре по сухому (T_c) и мокрому термометру (T_m) включен третий параметр, а именно психрометрическая разность

$$\Delta T = T_c - T_m$$

В этой системе увлажнение включается и отключается по сигналу от соответствия заданной режимом величине T_m и ΔT . Эти параметры при регулировании имеют одинаковый приоритет. Внедрение такой системы позволило значительно улучшить качество регулирования процесса и решить проблему по сушке бруса.

Ниже приведен фактический ход сушки лиственницы толщиной 30 мм до конечной влажности 10 % в камере емкостью 40 м³. Принятые сокращения: T_c – температура по сухому термометру; T_m – температура по мокрому термометру; ΔT – психрометрическая разность; W_t – текущая влажность материала.

1. Предварительный прогрев пиломатериалов: $T_c = 40^\circ\text{C}$, T_m и ΔT не регламентированы. Воздухообмен и увлажнение закрыты и заблокированы. Заданная продолжительность – 2 часа после достижения $T_c = 40^\circ\text{C}$. Фактическая продолжительность – 9 часов.

2. Начальный прогрев пиломатериалов: $T_c = 63^\circ\text{C}$, $T_m = 61,5^\circ\text{C}$, $\Delta T = 1,5^\circ\text{C}$. Увлажнение разблокировано. Заданная продолжительность – 4 часа после выхода на $T_c = 62^\circ\text{C}$. Фактическая продолжительность – 14 часов.

3. I ступень режима сушки: $T_c = 65^\circ\text{C}$, $T_m = 60^\circ\text{C}$, $\Delta T = 5^\circ\text{C}$. Воздухообмен разблокирован через 4 часа после перехода на I ступень режима. Заданная продолжительность до $W_t = 35\%$. Фактическая продолжительность – 43 часа.

4. II ступень режима сушки: $T_c = 68^\circ\text{C}$, $T_m = 58^\circ\text{C}$, $\Delta T = 10^\circ\text{C}$. Заданная продолжительность до $W_t = 25\%$. Фактическая продолжительность – 24 часа.

5. Промежуточная тепловлагообработка: $T_c = 65^\circ\text{C}$, $T_m = 63^\circ\text{C}$, $\Delta T = 2^\circ\text{C}$. Воздухообмен закрыт и заблокирован. Заданная продолжительность – 6 часов после достижения $\Delta T = 3^\circ\text{C}$. Фактическая продолжительность – 7 часов.

6. III ступень режима сушки: $T_c = 77^\circ\text{C}$, $T_m = 57^\circ\text{C}$, $\Delta T = 20^\circ\text{C}$. Воздухообмен разблокирован. Заданная продолжительность до $W_t = 10\%$. Фактическая продолжительность – 33 часа.

7. Конечная тепловлагообработка: $T_c = 67^\circ\text{C}$, $T_m = 65^\circ\text{C}$, $\Delta T = 2^\circ\text{C}$. Воздухообмен заблокирован. Заданная продолжительность – 10 часов после фактического перехода. Фактическая продолжительность – 10 часов.

8. Кондиционирование. $T_c = 77^\circ\text{C}$, $T_m = 63^\circ\text{C}$, $\Delta T = 14^\circ\text{C}$. Воздухообмен разблокирован. Заданная и фактическая продолжительность – 10 часов.

Общий расход воды на увлажнение составил 5080 литров, что составило: $5080 / 40 = 127 \text{ л/м}^3$ – этот расход вполне нормальный.

Лиственница является трудносохнущей породой и поэтому системе регулирования процесса сушки необходимо уделять самое пристальное внимание [10]. Точность измерения параметров сушильного агента, естественно, имеет первостепенное значение в регулировании процесса сушки. Если температура сушильного агента практически во всех камерах измеряется при помощи термометров сопротивления, то влажность сушильного агента в импортных камерах и в некоторых отечественных камерах измеряется опосредованно через равновесную влажность древесины. Это возможно, потому что определенному состоянию воздуха соответствует уравновешенная с ним влажность древесины, называемая равновесной.

Датчики равновесной влажности широко применяются в автоматике импортных сушильных камер (UGL, EMC-контроль). Сам датчик – это тонкая прессованная пластина из целлюлозы, которая увлажняется при увеличении влажности воздуха и подсыхает при ее уменьшении. Влажность пластины измеряется кондуктометрическим способом. Фактически это тот же влагомер древесины со всеми его недостатками, но измеряет влажность пластины. К достоинствам этого метода относят дешевизну пластины, удобство применения в автоматике сушильных камер. Для этого датчика, в отличие от психрометра, не требуется подвод воды. Недостатками здесь являются отсутствие метрологического обеспечения, загрязнение пластины, которое влияет на точность измерения. Но самые главные недостатки данного метода измерения – это большая погрешность при высокой влажности сушильного агента и большая инерционность измерения (десятки минут). Если в диапазоне равновесной влажности ниже 15 % разрешающая способность этого метода приемлема, то в диапазоне более 15 % – очень проблематична. Это значит, что при высокой относительной влажности сушильного агента (примерно 85 % и выше) точность измерения, а соответственно и регулирования, на порядок ниже, чем при относительной влажности сушильного агента 30 %. Причем это происходит на первых фазах процесса сушки, являющихся наиболее ответственными. В этой системе датчик температуры имеет инерционность не более 2-х минут, а датчик влажности сушильного агента имеет инерционность более 20 минут. Однако при работе такой системы регулирования возникают неопределенности, в результате чего проходят ложные команды, которые снижают эффект регулирования процесса сушки. Приведем только один пример. В установившемся режиме температура и равновесная влажность сушильного агента находятся на заданном уровне. В какой-то момент времени температура повышается, равновесная влажность, естественно, снижается. Проходит команда на уменьшение подачи теплоносителя в калориферы. При этом проходит ложная команда (ведь влагосодержание не изменилось) на закрытие заслонок приточно-вытяжной системы, а иногда и на включение увлажнения. Под действием команды на калориферы температура возвращается на заданный уровень. При этом проходит команда на отключение увлажнения, если оно успело открыться, и на открытие заслонок приточно-вытяжной системы. Происходит откачка из камеры влаги из сушильного агента, которая туда попала в результате ложных срабатываний по каналу равновесная влажность. Таким образом, система делает совершенно ненужное включение и параметр равновесная влажность получает совершенно ненужное возмущение. Постоянное повторение таких ситуаций приводит к ухудшению качества регулирования и увеличению затрат на сушку.

Все вышеперечисленные недостатки исключены в системах регулирования, выпускаемых в ООО «ЕнисейПромАвтоматика» (г. Красноярск). Эта фирма также выпускает современные лесосушильные камеры под маркой Drylab, в которых очень хорошо высушиваются пиломатериалы из древесины лиственницы. Управление процессом сушки происходит без участия человека и может осуществляться под контролем производителя через удаленный доступ. Цена камер значительно ниже импортных, кроме Китая. Но китайские камеры, система регулирования и режимы сушки в них не приемлемы для оптимальной сушки пиломатериалов из лиственницы. В процессоры камер Drylab забиты оптимальные, апробированные на протяжении нескольких лет, режимы сушки лиственницы, которые легко реализуются системой регулирования системами управления этих камер.

Заключение

На основании проведенного обзора можно утверждать, что предлагать режимы сушки, особенно трудносохнущих пород, совершенно нецелесообразно, так как фактическая реализация этих режимов зависит от конкретных условий: конструкции камеры, тепловой мощности, наличия частотных преобразователей, идеологии регулятора параметров сушильного агента. Эти факторы должны быть учтены именно режимами сушки. Но вполне можно констатировать, что массовая экономичная качественная сушка лиственницы до эксплуатационной влажности в конвективных камерах периодического действия на сегодняшний день является решаемой задачей.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Справочник для учета лесных ресурсов Дальнего Востока : справочное издание / отв. сост. В. Н. Корякин. – Хабаровск : Изд-во ФГУ ДНИИЛХ, 2010. – 527 с.
2. Бокщанин Ю. Р. Обработка и применение древесины лиственницы / Ю. Р. Бокщанин. – М. : Лесн. пром-сть, 1973. – 200 с.
3. Голицын В. П. Сравнительная оценка энергозатрат на сушку пиломатериала в сушильном оборудовании различного типа и способа сушки / В. П. Голицын, Н. В. Голицына // Лесной эксперт. – 2004. – № 16. – С. 18–25.
4. Гороховский А. Г. Совершенствование системы требований к качеству сушки пиломатериалов / А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина, Е. В. Старова и др. // Системы. Методы. Технологии. – 2017. – № 2 (34). – С. 133–138.
5. Расев А. И. Сушка древесины : учебное пособие / А. И. Расев. – М. : МГУЛ, 2005. – 224 с.
6. Расев А. И. Тепловая обработка и сушка древесины : учебник / А. И. Расев. – М. : МГУЛ, 2009. – 360 с.
7. Дьяконов К. Ф. Пособие по сушке пиломатериалов / К. Ф. Дьяконов, А. М. Гукалов. – М. : Лесная промышленность, 1978. – 131 с.
8. Богданов Е. С. Справочник по сушке древесины / Е. С. Богданов, В. А. Козлов, В. Б. Кунтыш и др. – М. : Лесн. пром-сть, 1990. – 304 с.
9. Дьяконов К. Ф. Влияние гидротермической обработки на прочность древесины березы и лиственницы / К. Ф. Дьяконов // Деревообрабатывающая промышленность. – 1967. – № 4. – С. 44–47.
10. Гороховский А. Г. Синтез оптимальной по быстродействию системы управления сушкой пиломатериалов / А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 1 (49). – С. 98–103.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Spravochnik dlja ucheta lesnyh resursov Dal'nego Vostoka : spravochnoe izdanie [Handbook for accounting of the Far Eastern forest resources : a reference edition] / resp. comp. V. N. Korjakin. – Habarovsk : Publishing house FGU DNIILH, 2010. – 527 p. [in Russian]
2. Bokshhanin Ju. R. Obrabotka i primenenie drevesiny listvennicy [Processing and application of larch wood] / Ju. R. Bokshhanin. – M. : Lesn. prom-st', 1973. – 200 p. [in Russian]
3. Golicyn V. P. Sravnitel'naja ocenka jenergozatat na sushku pilomateriala v sushil'nom oborudovanii razlichnogo tipa i sposoba sushki [Comparative Assessment of Energy Consumption for Drying Lumber in the Equipment of Various Types and Methods of Drying] / V. P. Golicyn, N. V. Golicyna // Lesnoj jekspert [Forest expert]. – 2004. – № 16. – P. 18–25. [in Russian]
4. Gorohovskij A. G. Sovershenstvovanie sistemy trebovanij k kachestvu sushki pilomaterialov [Improving the system of quality requirements for drying timber] / A. G. Gorohovskij, E. E. Shishkina, E. V. Starova, A. A. Mikov, S. V. Bulatov // Sistemy. Metody. Tehnologii [Systems. Methods. Technologies]. – 2017. – № 2 (34). – P. 133–138. [in Russian]
5. Rasev A. I. Sushka drevesiny : uchebnoe posobie [Drying of wood : manual] / A. I. Rasev. – M. : MGUL, 2005. – 224 p. [in Russian]
6. Rasev A. I. Teplovaja obrabotka i sushka drevesiny : uchebnik [Heat treatment and drying of wood : a textbook] / A. I. Rasev. – M. : MGUL, 2009. – 360 p. [in Russian]
7. D'jakonov K. F. Posobie po sushke pilomaterialov [Lumber drying guide] / K. F. D'jakonov, A. M. Gukalov. – M. : Lesnaja promyshlennost', 1978. – 131 p. [in Russian]
8. Bogdanov E. S. Spravochnik po sushke drevesiny [Wood drying handbook] / E. S. Bogdanov, V. A. Kozlov, V. B. Kuntyshev, V. I. Melehev. – M. : Lesn. prom-st', 1990. – 304 p. [in Russian]
9. D'jakonov K. F. Vlijanie gidrotermicheskoj obrabotki na prochnost' drevesiny berezy i listvennicy [The influence of hydrothermal treatment to the strength of birch and larch wood] / K. F. D'jakonov // Derevoobrabatyvajushhaja promyshlennost' [Woodworking industry]. – 1967. – № 4. – P. 44–47. [in Russian]
10. Gorohovskij A. G. Sintez optimal'noj po bystrodejstviju sistemy upravlenija sushkoj pilomaterialov [Synthesis of an optimal speed control system for drying lumber] / A. G. Gorohovskij, E. E. Shishkina // Sistemy. Metody. Tehnologii [Systems. Methods. Technologies]. – 2021. – № 1 (49). – P. 98–103. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.016>

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕАЛИЗУЕМЫХ НАЗНАЧЕНИЯХ ЦЕЛЕВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ БПЛА И ОПРЕДЕЛЕНИИ ОЧЕРЕДНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ФОРМАЦИИ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ТРАЕКТОРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Научная статья

Титков И.П.¹, Карпунин А.А.², *¹ ORCID: 0000-0001-5023-7266;² ORCID: 0000-0002-4117-5021;^{1,2} Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (karpunin[at]bmstu.ru)

Аннотация

Рассматривается задача об оптимальных по критерию стоимости реализуемых назначениях целевых положений беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и определении очередности движения в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности. Задача формации заключается в переводе БПЛА из начальной пространственной конфигурации в заданную конечную с поддержанием безопасного расстояния между БПЛА. Выявляется проблематика применения классической задачи о назначениях при перестроении строя с обеспечением траекторной безопасности. На модельном примере показывается наличие нескольких оптимальных назначений целевых положений БПЛА, часть которых оказывается нереализуемой. Ставится и решается задача об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в формации с определением очередности движения. Для этого классическая задача о назначениях дополняется ограничениями в виде условия реализуемости. Условие реализуемости требует существования очередности движения БПЛА из начальных положений в конечные, не допускающей нахождения переместившегося БПЛА на траектории еще не переместившегося. Предлагается алгоритм решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях и алгоритм проверки реализуемости назначений и определения очередности движения. Приводятся примеры определения очередности движения и проверки реализуемости назначений. Исследуется производительность реализации предложенных алгоритмов и оценивается длительность вычислений.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, формация БПЛА, полет строем, задача о назначениях, траекторная безопасность.

SOLVING THE PROBLEM OF OPTIMAL REALIZABLE ASSIGNMENTS OF THE TARGET POSITIONS OF THE UAV AND DETERMINING THE ORDER OF MOVEMENT IN THE FORMATION PROBLEM WITH ENSURING TRAJECTORY SAFETY

Research article

Titkov I.P.¹, Karpunin A.A.², *¹ ORCID: 0000-0001-5023-7266,² ORCID: 0000-0002-4117-5021,^{1,2} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

* Corresponding author (karpunin[at]bmstu.ru)

Abstract

The current study examines the problem of optimal assignments of target positions of unmanned aerial vehicles (UAVs) according to the cost criterion and determining the order of movement in the formation problem with ensuring trajectory safety. The task of the formation is to transfer a UAV from the initial spatial configuration to a given final configuration with maintaining a safe distance between the UAVs. The study determines the problems of the application of the classical assignment problem in the reconstruction of the system with the provision of trajectory safety. The model example shows the presence of several optimal assignments of the target positions of the UAV, some of which turn out to be unrealizable. Also, the study poses and solves the problem of optimal realizable assignments of the target positions of the UAV in the formation with the determination of the sequence of movement. To do this, the classical assignment problem is supplemented by constraints in the form of a realizability condition. The feasibility condition requires the existence of a sequence of UAV movement from the initial positions to the final ones, which does not allow the UAV to be moved on the trajectory of the one that has not yet moved. The authors propose an algorithm for solving the problem of optimal implementable assignments and an algorithm for checking the feasibility of assignments and determining the order of movement; they also provide examples of determining the order of movement and checking the feasibility of assignments. The article investigates the performance of the implementation of the proposed algorithms and estimates the duration of calculations.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV formation, formation flight, assignment task, trajectory safety.

Введение

В связи с ростом научно-прикладного интереса к тематике группового применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультироторного типа увеличивается потребность в получении и использовании простых и эффективных способов планирования и управления движением группы БПЛА.

Среди задач управления группой БПЛА возможно выделить задачу построения заданного строя или формации (англ. formation task) [1], [2]. В различных источниках задача построения и перестроения формации может называться по-разному, например, задача формирования строя группой БПЛА [3], [5], строевая задача [4].

Задача формации заключается в переводе БПЛА из начальной пространственной конфигурации в заданную конечную с поддержанием безопасного расстояния между БПЛА. Предполагается, что множество конечных положений в пространственной конфигурации известно, и их необходимо назначить конкретным БПЛА.

За последние годы опубликовано значительное количество работ, посвященных планированию и назначению траекторий движения групп БПЛА на основе различных подходов. Среди них можно выделить следующие.

Работа [13] основана на использовании теории графов: начальная и конечная формации описываются с помощью графов, переход из начального в конечное состояние осуществляется путем последовательных незначительных изменений весов ребер графа. После получения обновленного состояния графа решается задача о назначениях целевых положений для перевода группы в это состояние. Этот подход используется в [7] для перевода группы БПЛА из начальной формации в заданную. Предполагается, что за счет незначительных изменений текущего состояния формации, не произойдет столкновений и блокировок движения БПЛА.

В [18] выполняется синтез траекторий для отдельных БПЛА группы с последующим оптимальным назначением целевых положений на основе функции стоимости. Работы [16], [17], [19] отличаются используемыми критериями в целевой функции и подходами к планированию безопасных траекторий во времени.

В работе [3] для назначения БПЛА целевых положений в конечной формации используется метод итерационного улучшения плана, который не учитывает очередность движений БПЛА и требует выполнения итераций до достижения желаемого улучшения плана. В работах [6], [8] централизованный подход к выбору целевых положений в формации по критерию близости желаемых положений показывает более высокое быстродействие и лучшую сходимость по сравнению с децентрализованным подходом на основе роев. В работе [9] используется мультиагентный подход с составлением дискретного расписания движения для устранения коллизий. В [19] используется децентрализованный подход на основе аукциона. В [10] предлагается решение задачи определения самих желаемых положений в формации по заданному описанию этих положений. В [11] решается классическая задача о назначениях для двудольного графа, сформированного по расстояниям между начальными и конечными положениями на сфере.

В работе [14] сравниваются различные алгоритмы решения классической задачи о назначениях [12], [14], [15].

В большинстве из указанных работ важное место занимает приоритизация и планирование очередности движения для обеспечения траекторной безопасности. Несмотря на важность этих задач, они решаются на последних этапах при планировании траекторий движения во времени уже после решения задачи о назначениях. В настоящей работе показана необходимость выполнения приоритизации и первичного планирования очередности движения совместно с решением задачи о назначениях для предотвращения ситуаций, связанных с блокировками траекторий движения одними БПЛА других и приводящих к невозможности реализации формации.

Цель работы – получение способа назначения оптимальных реализуемых целевых положений БПЛА и определения очередности движения в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности.

Данная работа может быть полезна для специалистов в различных областях при разработке не только систем управления группой БПЛА, способных к зависанию, но и мобильными робототехническими системами.

Постановка задачи

Задача об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА и определении очередности движения в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности является комплексной. Для ее решения выполняется декомпозиция на отдельные задачи, которые ставятся и решаются в данной работе.

Постановка задачи формации группы БПЛА

Под состоянием группы БПЛА в данной работе понимается множество состояний БПЛА группы: положение и скорость центра масс (ЦМ) БПЛА, ориентация и угловая скорость БПЛА. Под формацией в данной работе понимается множество положений БПЛА группы.

Известно состояние группы БПЛА в начальный момент времени $\mathbf{X}^{UGF}(t_0) = [\bar{X}_1^{UAV}(t_0), \dots, \bar{X}_N^{UAV}(t_0)]$. Задано желаемое терминальное состояние группы БПЛА $\mathbf{X}^{UGF}(t_f) = [\bar{X}_1^{UAV}(t_f), \dots, \bar{X}_N^{UAV}(t_f)]$. Текущее состояние $\mathbf{X}_i^{UAV}(t)$ i -го БПЛА известно. Требуется перевести формацию из начального состояния $\mathbf{X}^{UGF}(t_0)$ в желаемое $\mathbf{X}^{UGF}(t_f)$ за время $t \in [t_0, t_f]$. Формация считается сформированной, если достигнуты требования к точности формации $|\mathbf{X}^{UGF}(t) - \mathbf{X}^{UGF}(t_f)| \leq \mathbf{X}_\epsilon^{UGF}$. В терминальном состоянии скорость ЦМ БПЛА и угловая скорость должны быть нулевыми, положение – назначенное желаемое положение в формации с указанной точностью. Назначение желаемых положений БПЛА в конечной формации является самостоятельной задачей и ее постановка приводится далее.

Постановка задачи обеспечения траекторной безопасности группы БПЛА в задаче формации

В простейшем случае под траекторной безопасностью понимается отсутствие столкновений между БПЛА, БПЛА с препятствиями и положительная высота полета относительно подстилающей поверхности на всем интервале функционирования системы.

Отсутствие столкновений между БПЛА осуществляется за счет выполнения требований к безопасному расстоянию между БПЛА:

$$\rho_{ij}^{UAV}(t) \geq \rho_{safe}^{UAV}, \quad (1)$$

где $\rho_{ij}^{UAV}(t) = \sqrt{(x_i^{UAV}(t) - x_j^{UAV}(t))^2 + (y_i^{UAV}(t) - y_j^{UAV}(t))^2 + (z_i^{UAV}(t) - z_j^{UAV}(t))^2}$ – расстояние между ЦМ i -ого и j -ого БПЛА; ρ_{safe}^{UAV} – требование к минимально допустимому безопасному расстоянию между БПЛА.

Задача обнаружения столкновений между БПЛА может быть сведена к обнаружению пересечения ограничивающих объемов в виде сфер заданного радиуса:

$$\rho_{ij}^{BV} = 0,$$

где ρ_{ij}^{BV} – расстояние между ограничивающими объемами.

Отсутствие столкновений между БПЛА и препятствиями осуществляется за счет выполнения требований к безопасному расстоянию между БПЛА и статическими препятствиями:

$$\rho_{ij}^{OBST}(t) \geq \rho_{safe}^{OBST}, \quad (2)$$

где $\rho_{ij}^{OBST}(t) = \min_k \sqrt{(x_i^{UAV}(t) - x_{jk}^{OBST})^2 + (y_i^{UAV}(t) - y_{jk}^{OBST})^2 + (z_i^{UAV}(t) - z_{jk}^{OBST})^2}$ – расстояние между i -ым БПЛА и k -ой точкой j -ого препятствия; ρ_{safe}^{OBST} – требование к минимальному допустимому расстоянию между БПЛА и препятствием.

Проблематика классической задачи о назначениях в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности

Фундаментальная задача о назначениях – задача о поиске минимальной суммы дуг во взвешенном двудольном графе, широко применяется для распределения заданий между БПЛА. При этом несмотря на эффективность ее применения возникают ситуации, в которых одного решения этой задачи недостаточно для назначения желаемых положений БПЛА.

На рис. 1а представлен пример формации без пересечения траекторий движения БПЛА в целевые точки. На рис. 1б представлен пример формации с пересечением траекторий БПЛА. Для примеров, представленных на рис. 1а и рис. 1б решение задачи о назначениях позволяет получить оптимальные назначения. На рис. 1в представлен пример формации, для которой существует несколько оптимальных решений с одинаковой стоимостью, но при этом существуют назначения, не позволяющие остальным БПЛА достичь желаемых положений: если третий БПЛА займет первое положение в формации, то остальные окажутся заблокированными и не смогут достичь желаемых положений.

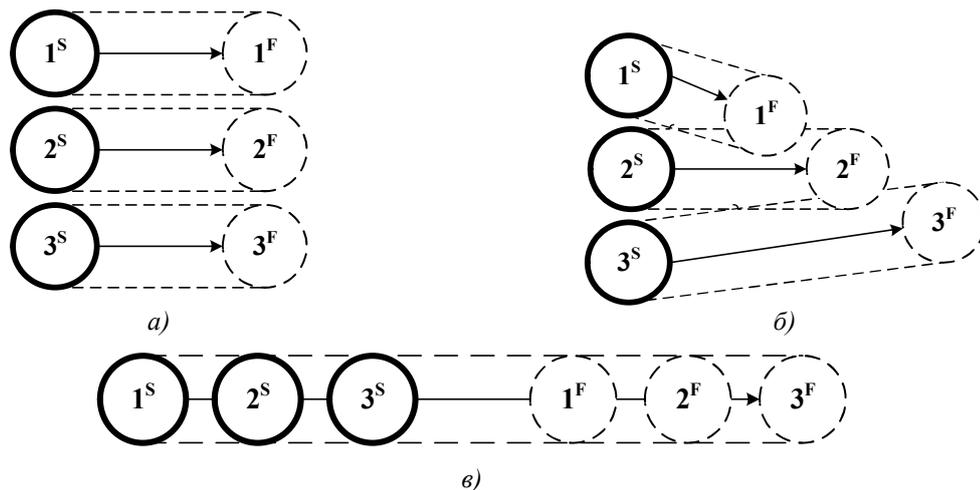


Рис. 1 – Примеры формаций: а) без пересечения траекторий; б) с пересечением траекторий; в) с вложенными траекториями

На рис. 2 показан пример формация для трех БПЛА со стоимостями перелета $c_{11} = 20$, $c_{12} = 25$, $c_{13} = 30$, $c_{21} = 15$, $c_{22} = 20$, $c_{23} = 25$, $c_{31} = 10$, $c_{32} = 15$, $c_{33} = 20$ из начальных положений i^S в конечные положения i^F , где $i = 1, 2, 3$.

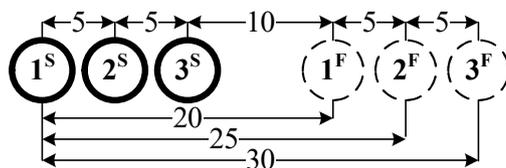


Рис. 2 – Пример формации с нереализуемыми назначениями

В табл. 1 представлена матрица стоимости для этой формации.

Таблица 1 – Пример матрицы стоимости для формации из трех БПЛА

c_{ij}	1^F	2^F	3^F
1^S	20	25	30
2^S	15	20	25
3^S	10	15	20

При решении классической задачи о назначениях существует несколько оптимальных решений с одинаковыми значениями функции стоимости: например, $J_1^*(x_{11} = x_{22} = x_{33} = 1) = 60$, $J_2^*(x_{13} = x_{22} = x_{31} = 1) = 60$, $J_3^*(x_{12} = x_{21} = x_{33} = 1) = 60$. При этом единственное реализуемое назначение $J^*(x_{11} = x_{22} = x_{33} = 1) = 60$. В остальных назначениях происходит блокировка одними БПЛА других.

Таким образом, использование для решения задачи формации только лишь классической задачи о назначениях является недостаточным по причине возможности получения оптимального решения в виде нереализуемых назначений. Возникает необходимость в получении оптимальных реализуемых назначений и определении очередности движения.

Постановка задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в формации с определением очередности движения

В широком смысле под формацией из N_F точек понимается множество координат этих точек, а под формацией группы из N_{UAV} БПЛА – множество координат БПЛА. Целевая формация – множество координат, которые должны занять БПЛА группы.

В случае, если желаемые положения для каждого БПЛА в формации не назначены, то возникает необходимость в назначении каждому БПЛА такого положения.

В общем случае стоимости назначения i -му БПЛА U_i j -го целевого положения в формации образуют матрицу стоимости $C = [c_{ij}]$, $c_{ij} \geq 0$, $c_{ij} \rightarrow \infty$ в случае недопустимого назначения, $U_i \in U$, где U – множество БПЛА

Функция стоимости задачи о назначениях имеет вид $J = \sum_{i \in S} \sum_{j \in F} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$ с ограничениями $\sum_{j \in F} x_{ij} = 1, i \in S$,

$\sum_{i \in S} x_{ij} = 1, j \in F, x_{ij} \geq 0, i, j \in S, F$, где S – множество положений в начальной формации; F – множество положений в конечной формации; x_{ij} – назначение i -му БПЛА U_i j -го положения; $x_{ij} = 1$, если i -му БПЛА назначено j -ое положение, иначе $x_{ij} = 0$.

В отличие от классической задачи о назначениях – поиске минимальной суммы дуг во взвешенном двудольном графе, в задаче об оптимальных реализуемых назначениях добавляется условие реализуемости назначений.

Условие реализуемости: должна существовать очередность движения БПЛА из начальных положений в конечные, не допускающая нахождение переместившегося БПЛА на траектории еще не переместившегося. Траектории предполагаются известными.

Решением задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в формации будет назначение БПЛА группы и очередность движения такие, что суммарная стоимость перевода в конечную формацию минимальная и назначение реализуемо.

Условие реализуемости для определения очередности движения через назначение приоритетов БПЛА $\Pi = (\pi_1, \dots, \pi_N)$ может быть формализовано как требование к безопасному расстоянию ρ_{safe}^{UAV} между j -ым положением в конечной формации p_j^F для i -ого БПЛА с большим приоритетом π_i и кусочно-непрерывными

траекториями L_{kl} остальных БПЛА с меньшим приоритетом π_k из k -ых положений в начальной формации p_k^S в остальные l -ые положения в конечной формации p_j^F :

$$\begin{aligned} \rho(p_j^F, L_{kl}) &> \rho_{safe}^{UAV}, \\ \pi_i &> \pi_k, \\ i, j : x_{ij} &= 1, \\ i, j, k, l &= \overline{1, N}, i \neq k, j \neq l. \end{aligned} \quad (3)$$

Условие (3) имеет следующий смысл: i -ый БПЛА с большим приоритетом π_i перемещается из i -го положения в начальной формации p_i^S в j -ое целевое положение в конечной формации p_j^F раньше, чем БПЛА с меньшим приоритетом, и занимаемое им конечное положение p_j^F не должно располагаться на траекториях k -ых БПЛА с меньшим приоритетом π_k .

Таким образом, формализованным решением задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА и очередности движения в задаче формации будут назначенные БПЛА целевые положения x_{ij} и приоритеты Π такие, что суммарная стоимость перемещения в конечную формацию минимальная и назначение реализуемо.

Поставленная задача относится к классу задач нелинейного целочисленного программирования – в ее состав входят классическая задача о назначениях (задача линейного дискретного программирования) и задача определения очередности движения через целочисленные значения приоритетов и нелинейные условия реализуемости.

Решение задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в формации с определением очередности движения

Для решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в формации с определением очередности разработаны описанные ниже алгоритмы.

Алгоритм решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в формации с определением очередности движения

Входными данными алгоритма являются начальная и конечная формации, траектории в пространстве между точками начальной и конечной формаций, заданные ограничивающие объемы и их параметры (например, радиусы сфер) для проверки требований к безопасному расстоянию; целевая функция для решения классической задачи о назначениях. Выходными данными алгоритма являются оптимальные реализуемые назначения и очередность движения БПЛА.

По входным данным формируется исходная матрица стоимости. Для полученной матрицы стоимости решается классическая задача о назначениях любым известным способом. Проверяется реализуемость назначений. Если назначения нереализуемы, то стоимость блокирующего назначения (нахождение переместившегося БПЛА на траектории еще не переместившегося) принимается бесконечной и повторяются предыдущие шаги по решению классической задачи о назначениях для полученной матрицы стоимости до тех пор, пока не будут получены реализуемые назначения и очередность движения. На рис. 3 представлена блок-схема этого алгоритма.

Описание проверки реализуемости назначений с определением очередности движения представлено далее.

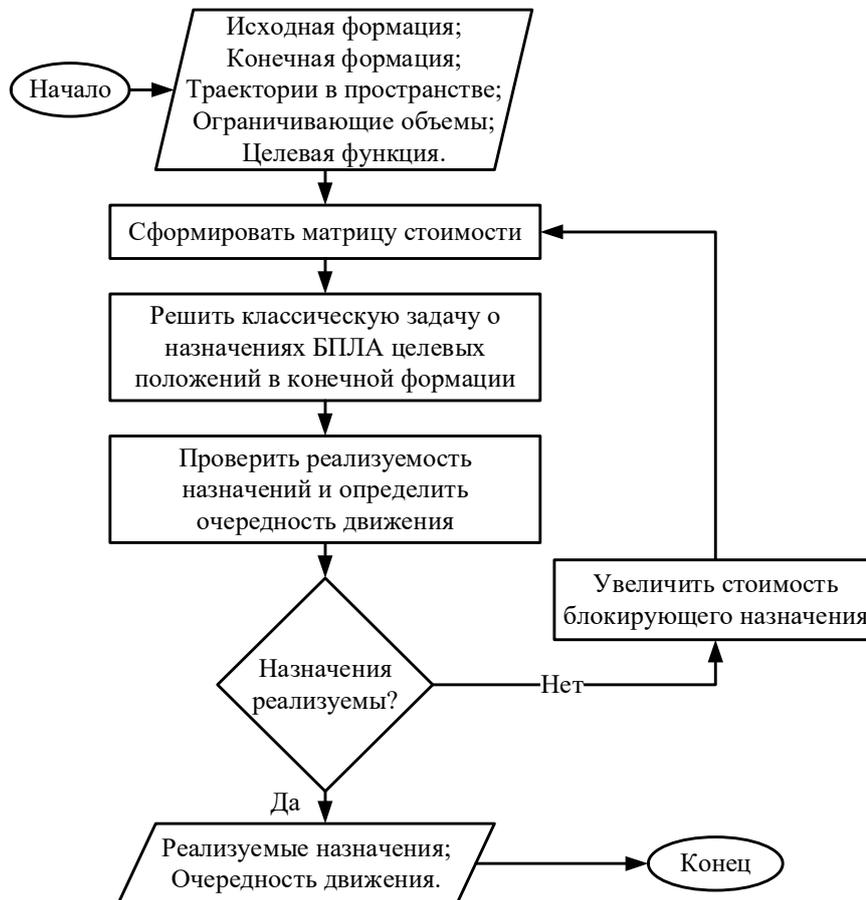


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определении очередности движения

Предложенный алгоритм позволяет получить оптимальные реализуемые назначения БПЛА целевых положений в формации и определить безопасную очередность движения.

Алгоритм проверки реализуемости назначений и определения очередности движения

Для проверки реализуемости назначений и определения очередности движения разработан следующий алгоритм.

Входными данными являются текущие положения БПЛА, положения точек начальной и конечной формаций в пространстве и соединяющие их траектории и проверяемые назначения. Выходными данными являются реализуемость назначений и очередность движения, реализующая это назначение.

На подготовительном этапе формируются: три очереди – очередь хода, очередь ожидания, очередь движения (очередность движения); флаги переносов БПЛА из очереди движения в очередь хода (флаг «переноса» БПЛА). Очередь хода может быть заполнена произвольно индексами БПЛА группы или, например, в соответствии с назначениями, очередь ожидания – пустая, очередь движения – пустая.

Основной этап заключается в пошаговом выполнении действий:

1. если очередь хода не пустая, то необходимо выбрать первый БПЛА из очереди и принять решение о выполнении одного из четырех действий:

а) переместить выбранный БПЛА в конечное положение, соответствующее назначению, и перенести выбранный БПЛА из очереди хода в конец очереди движения, если на траектории движения отсутствуют конечные положения, занятые другими БПЛА;

б) перенести выбранный БПЛА из очереди хода в конец очереди ожидания, если на траектории движения выбранного БПЛА присутствует БПЛА, занимающий исходное положение;

в) оставить выбранный БПЛА в начале очереди хода, если на траектории движения выбранного БПЛА присутствует БПЛА, занявший конечное положение («блокирующий» БПЛА), и перенести «блокирующий» БПЛА из очереди движения в конец очереди хода, если флаг «переноса» «блокирующего» БПЛА не поднят;

д) завершить основной этап по причине блокировки траектории движения последним БПЛА из очереди движения, если на траектории движения выбранного БПЛА присутствует другой БПЛА, занявший целевое положение («блокирующий» БПЛА) и флаг «переноса» «блокирующего» БПЛА поднят.

2. если очередь ожидания не пустая, то БПЛА перемещаются из очереди ожидания в очередь хода и повторяются действия из предыдущего пункта; флаги «переносов» БПЛА сбрасываются.

3. если очередь ожидания и очередь хода пустые, то завершить основной этап по причине реализуемости назначений с полученной очередью движения (очередностью движения).

В результате выполнения описанных выше действий проверяется реализуемость назначений и определяется очередность движения БПЛА. Положение БПЛА в очереди движения соответствует его приоритету – БПЛА в начале очереди имеет больший приоритет и должен перемещаться раньше остальных.

Формализация условий принятия решений по перемещению (действие 1а), ожиданию (действие 1б) или выявления блокировки (действие 1г) для определения реализуемости и определения очередности движения представлена далее.

Формализация условий для определения очередности движения в задаче формации

Для определения очередности движения в задаче о реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в конечной формации используются следующие три формальных условия:

1) условие перемещения $U_i: \rho(L_i, U_j) > \rho_{Move}^{cr}, i \in U, j \in U, i \neq j, U_j \subset F_j;$

2) условие ожидания $U_i: \rho(U_i, L_j) \leq \rho_{Wait}^{cr}, U_i \subset S_i, U_j \not\subset F_j, i \neq j;$

3) условие блокировки $U_i: \rho(U_i, U_i) \leq \rho_{Block}^{cr}, U_k \subset S_m, U_m \subset F_m,$

где $\rho(L_i, U_j)$ – расстояние между траекторией i -го и j -ым БПЛА; S_i – исходное положение i -го БПЛА; F_i – конечное положение i -го БПЛА; $U_i \subset S_i$ – i -ый БПЛА находится в i -ом начальном положении; $U_i \subset F_i$ – i -ый БПЛА занял i -ое конечное положение.

Условия имеют следующий смысл: условие перемещения – БПЛА может переместиться, если на его траектории отсутствуют другие БПЛА; условие ожидания – БПЛА ожидает, если на его траектории находится БПЛА в начальном положении; БПЛА заблокирован, если на его траектории находится БПЛА в конечном положении. Проверки по этим условиям выполняются в статике, перемещение считается мгновенным.

На рис. 4 показан пример выполнения условия перемещения – БПЛА «U₁» может переместиться из начального положения «S₁» в конечное положение «F₁», т.к. на его траектории отсутствуют другие БПЛА с большим приоритетом и его перемещение не заблокирует возможность перемещения БПЛА «U₂».

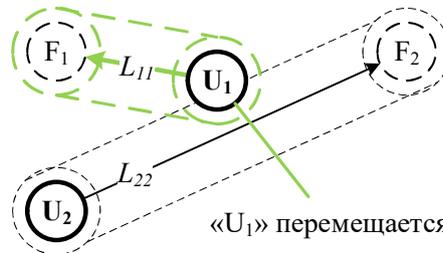


Рис. 4 – Иллюстрация условия перемещения БПЛА

На рис. 5 показан пример выполнения условия ожидания – БПЛА «U₂» ожидает перемещение БПЛА «U₁», т.к. на его траектории находится БПЛА «U₁» с меньшим приоритетом в начальном положении «S₁»

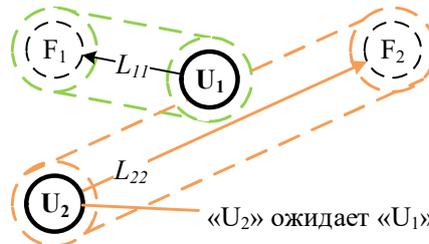


Рис. 5 – Иллюстрация условия ожидания БПЛА

На рис. 6 показан пример выполнения условия блокировки – БПЛА «U₃» заблокировал перемещение БПЛА «U₂», т.к. занял конечное положение «F₃» на траектории еще не переместившегося БПЛА «U₂» с большим приоритетом.

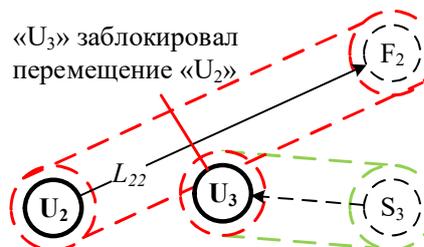


Рис. 6 – Иллюстрация условия блокировки БПЛА

Описанные условия используются для проверки реализуемости назначений и определения очередности движения БПЛА.

Примеры проверки реализуемости назначений и определения очередности движения

Для пояснения работы описанных алгоритмов далее приводятся примеры проверки реализуемости назначений и определения очередности движения для формаций с нереализуемыми и реализуемыми назначениями.

Пример проверки нереализуемых назначений

На рис. 7 представлен пример нереализуемых назначений $x_{12} = 1, x_{21} = 1, x_{33} = 1$ для формации из трех БПЛА с матрицей стоимости табл. 1. Очевидно, эти назначения нереализуемы причине блокировки вторым БПЛА, занявшим первое положение в формации, траектории движения первого БПЛА во второе положение в формации.

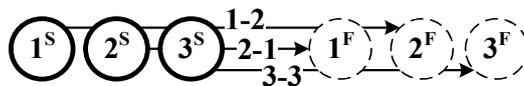


Рис. 7 – Пример нереализуемых назначений для формации из трех БПЛА

В табл. 2 приведена последовательность действий, выполненных для проверки реализуемости нереализуемых назначений (рис. 7).

Таблица 2 – Пример проверки нереализуемых назначений

№	Очередь хода	Очередь ожидания	Действие	Очередность движения
1	1, 2, 3	-	«U ₁ » ожидает «U ₂ »	-
2	2, 3	1	«U ₂ » ожидает «U ₃ »	-
3	3	1, 2	«U ₃ » занимает «3 ^F »	-
4	-	1, 2	Перенести очередь ожидания в очередь хода.	3
5	1, 2	-	«U ₁ » ожидает «U ₂ »	3
6	2	1	«U ₂ » занимает «1 ^F »	3
7	-	1	Перенести очередь ожидания в очередь хода и сбросить флаги «переноса»	3, 2
8	1, 2	-	Перенести «U ₂ » в конец очереди хода и поднять флаг «переноса» «U ₂ »	3
9	2	1	«U ₁ » ожидает «U ₂ »	3
11	1	-	Провал: перемещение «U ₂ » в «1 ^F » заблокировало путь «U ₁ » в «2 ^F » и флаг «переноса» «U ₂ » поднят.	3, 2

На рис. 8а-8в представлена иллюстрация выполненных действий для проверки реализуемости назначений. На рис. 8а показано ожидание первым и вторым БПЛА перемещения третьего БПЛА и перемещение третьего БПЛА в третье целевое положение в формации. На рис. 8б показано перемещение второго БПЛА в первое целевое положение. На рис. 8в показана невозможность перемещения первого БПЛА во второе целевое положение по причине блокировки траектории движения БПЛА, занявшим второе целевое положение.

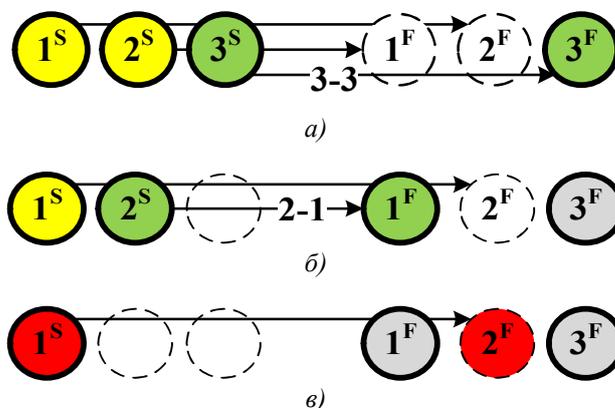


Рис. 8 – Схемы перемещений:

- а) «U₃» перемещается из «3^S» в «3^F», «U₁» и «U₂» ожидают перемещения «U₃»; б) «U₂» перемещается из «2^S» в «1^F»; «U₁» ожидает перемещение «U₂»; в) Перемещение «U₁» из «1^S» в «2^F» заблокировано «U₂», который занял конечное положение «1^F»

Из анализа результатов пошагового моделирования, представленных в табл. 2 и на рис. 8 следует, что назначения нереализуемы.

Пример проверки реализуемых назначений

На рис. 9 представлен пример реализуемых назначений $x_{12} = 1, x_{21} = 1, x_{33} = 1$ для формации из трех БПЛА с матрицей стоимости табл. 1. Очевидно, эти назначения реализуемы – все аппараты двигаются друг за другом.

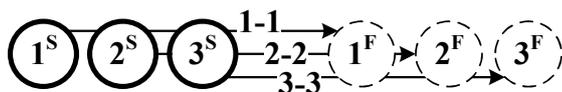


Рис. 9– Пример реализуемых назначений для формации из трех БПЛА

В табл. 3 приведена последовательность действий, выполненных для проверки реализуемости реализуемых назначений (рис. 9)

Таблица 3 – Пример проверки реализуемых назначений

№	Очередь хода	Очередь ожидания	Действие	Очередность
1	1; 2; 3	-	«U ₁ » ожидает «U ₂ »	-
2	2; 3	1	«U ₂ » ожидает «U ₃ »	-
3	3	1; 2	«U ₃ » занимает «3 ^F »	-
4	-	1; 2	Перенести очередь ожидания в очередь хода	3
5	1; 2	-	«U ₁ » ожидает «U ₂ »	3
6	2	1	«U ₂ » занимает «2 ^F »	3,2
7	-	1	Перенести очередь ожидания в очередь хода	
8	1	-	«U ₁ » занимает «1 ^F »	3; 2
9	-	-	Успех.	3; 2; 1

На рис. 10а-10в представлено пояснение выполненных действий для проверки реализуемости назначений. На рис. 10а показано ожидание первым и вторым БПЛА перемещения третьего БПЛА и перемещение третьего БПЛА в третье целевое положение в формации. На рис. 10б показано ожидание первым БПЛА второго и перемещение второго БПЛА во второе целевое положение. На рис. 10в показано перемещение первого БПЛА в первое целевое положение.

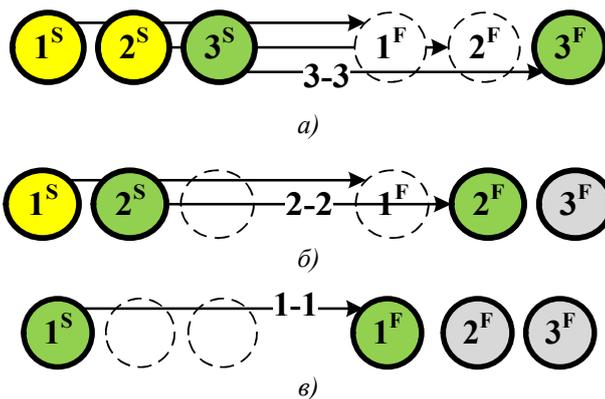


Рис. 10 – Схемы перемещений:

- а) «U₃» перемещается из «3^S» в «3^F», «U₁» и «U₂» ожидают перемещения «U₃»; б) «U₂» перемещается из «2^S» в «2^F»; «U₁» ожидает перемещение «U₂»; в) «U₁» перемещается из «1^S» в «1^F»

Из анализа результатов пошагового моделирования, представленных в табл. 3 и на рис. 10 следует, что назначения реализуемы.

Анализ решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях желаемых положений БПЛА в конечной формации и определение очередности движения

Для решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях последовательно решаются следующие частные задачи: планирование траекторий в пространстве между положениями в начальной и конечной формациях для формирования исходной матрицы стоимости и последующей проверки условия реализуемости (считаются известными); решение классической задачи о назначениях; проверка реализуемости назначений и определение очередности движения. Для анализа решения задачи проводятся вычислительные эксперимент по оценке длительности

решения классической задачи о назначениях, вычислительные эксперименты по исследованию задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определению очередности движения при отсутствии и при наличии нереализуемых назначений, оцениваются длительности решения.

Вычислительный эксперимент по оценке длительности решения классической задачи о назначениях

Для решения классической задачи о назначениях существует множество способов с различной вычислительной сложностью. Вычислительный эксперимент для оценки длительности решения классической задачи о назначениях проводится с применением венгерского алгоритма со сложностью $O(n^4)$. В табл. 4 представлены результаты: длительность решения одной классической задачи о назначениях и количество задач, которые возможно решить за одну секунду, в зависимости от количества положений в формации.

Таблица 4 – Длительность решения классической задачи о назначениях

Количество положений в формации	Длительность решения задачи, с	Количество решений за секунду
32	0,000152	6583
64	0,000191	5245
128	0,000829	1206
256	0,003922	254
512	0,025496	39
1024	0,164922	6
2048	1,165064	0
4096	7,849589	0

Экстраполирующая функция длительности решения классической задачи о назначениях для табл. 4 имеет вид $f(x) = 0.1048x^4 + 1.781x^3 + 4.41x^2 + 3.43x + 0.84$.

Оценка длительности решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определения очередности движения

Длительность проверки реализуемости назначений и определения очередности движения зависят от начальной очередности движения и класса траекторий, для которых проверяются условия.

Для проверки условий перемещения, ожидания и блокировки необходимо выполнить не более $2N^3$ проверок принадлежности начальных и конечных точек формаций, траекториям, соединяющим все начальные точки формации со всеми конечными, где N – количество точек в формации.

В простейшем случае для прямолинейных траекторий проверка этих условий сводится к вычислению не более $2N^3$ расстояний между точкой и отрезком. В случае ломаных траекторий – не более $2N \cdot n^2$ вычислений, где N – количество точек в формации, n – общее количество звеньев ломаных.

Оценка длительности вычислений для случая прямолинейных траекторий может быть использована как оценка снизу, т.к. вычисление для остальных классов траекторий займет не меньше времени.

Определение очередности движения занимает не более трех проверок условий и перемещения между списками, каждый цикл проверок выполняется для уменьшающегося количества БПЛА от N до 1. Наибольшее количество проверок может быть найдено как произведение количества типов проверок и суммы арифметической прогрессии количества БПЛА и составит не более $3 \cdot (1 + N)/2$ проверок, где N – количество БПЛА. Выполнение этих проверок возможно ускорить за счет распараллеливания. При проведении проверок ранее вычисленные значения расстояний возможно использовать повторно за счет кэширования.

Вычислительный эксперимент по исследованию задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определению очередности движения при отсутствии нереализуемых назначений

Цель вычислительного эксперимента – оценка длительности решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определению очередности движения при отсутствии нереализуемых назначений в зависимости от количества БПЛА в формации.

Исходные данные для вычислительного эксперимента – топология исходной и конечной формаций, количество БПЛА, требование к безопасному расстоянию. Топология исходной и конечной формаций представлены на рис. 11, формации расположены симметрично, расстояние между положениями в формациях одинаковое и больше безопасного, траектории – отрезки. В такой формации отсутствуют нереализуемые назначения.

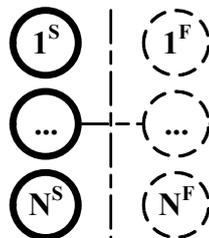


Рис. 11 – Топология исходной и конечной формаций без нереализуемых назначений

Для заданной топологии исходной и конечной формаций варьируется количество БПЛА и решается задача о реализуемых назначениях и определяется очередность движения. В процессе решения определяются общее время решения задачи, время решения классической задачи о назначениях и время проверки реализуемости и определения очередности движения.

Методика оценки результатов вычислительного эксперимента:

- 1) оценивается процентная доля временных затрат на этапах решения;
- 2) экстраполируется зависимость общего времени решения в зависимости от количества БПЛА.

Оформление результатов проведения вычислительного эксперимента:

- 1) экстраполирующая функция и график зависимости общей длительности решения от количества БПЛА;
- 2) график зависимости временных затрат на этапах решения от количества БПЛА;
- 3) график зависимости долей временных затрат на этапах решения от количества БПЛА.

Результаты проведения вычислительного эксперимента

На рис. 12 показана зависимость общей длительности решения от количества БПЛА с экстраполирующей функцией $0.001914 \exp(0.003742x)$.

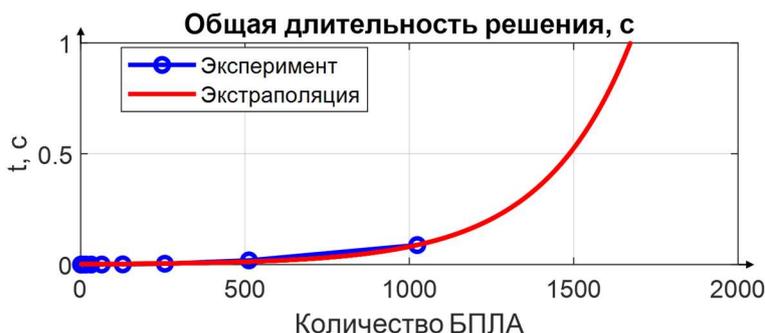


Рис. 12 – Зависимость общей длительности решения от количества БПЛА без нереализуемых назначений

На рис. 13 показана зависимость длительности этапов решения общей задачи от количества БПЛА. Наибольшее количество времени уходит на решение классической задачи о назначениях, с увеличением количества БПЛА длительность ее решения растет быстрее, чем длительность проверки реализуемости назначений и определения очередности движения.

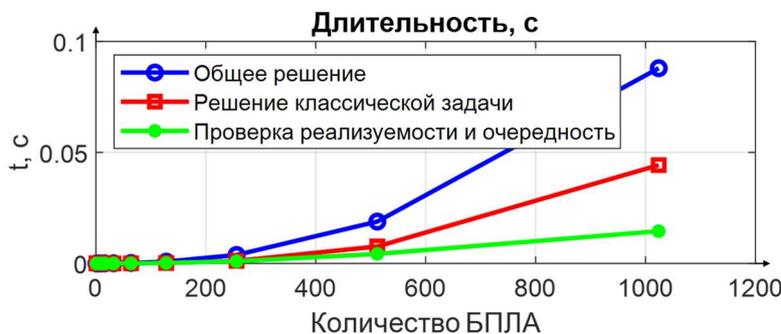


Рис. 13 – Зависимость длительности этапов решения общей задачи от количества БПЛА

На рис. 14 показана зависимость процентных долей этапов решения общей задачи от количества БПЛА. С ростом количества БПЛА доля решения классической задачи о назначениях увеличивается.

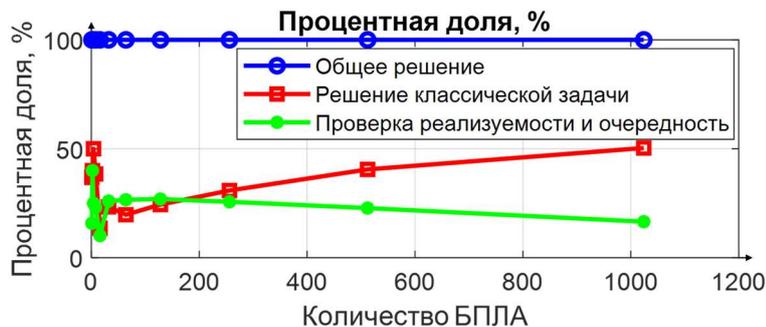


Рис. 14 – Зависимость процентной доли этапов решения общей задачи от количества БПЛА

Из анализа представленных результатов следует, что при решении задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определения очередности движения длительность проверки реализуемости и определения очередности не превосходит длительность решения классической задачи о назначениях.

Вычислительный эксперимент по исследованию задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определению очередности движения при наличии нереализуемых назначений

Цель вычислительного эксперимента – оценка длительности решения задачи о нереализуемых назначениях и определению очередности движения при наличии нереализуемых назначений и оценка количества нереализуемых назначений в зависимости от количества БПЛА в формации.

Исходные данные для вычислительного эксперимента – топология исходной и конечной формаций, количество БПЛА, требование к безопасному расстоянию. Топология исходной и конечной формаций представлены на рис. 15, формации расположены симметрично, расстояние между положениями в формациях одинаковое и больше безопасного, траектории – отрезки. Частный случай формации для трех БПЛА рассматривался выше – в такой формации присутствует несколько нереализуемых назначений.

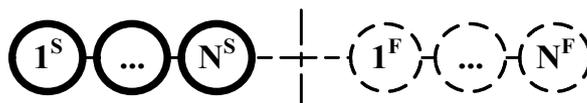


Рис. 15 – Топология исходной и конечной формаций с нереализуемыми назначениями

Для заданной топологии исходной и конечной формаций варьируется количество БПЛА и решается задача о реализуемых назначениях и определяется очередность движения. В процессе решения считается количество нереализуемых назначений, определяются общее время решения задачи, время решения классической задачи о назначениях и время проверки реализуемости и определения очередности движения.

Методика оценки результатов вычислительного эксперимента

- 1) оценивается процентная доля временных затрат на этапах решения;
- 2) экстраполируется зависимость общего времени решения в зависимости от количества БПЛА.

Оформление результатов проведения вычислительного эксперимента:

- 1) экстраполирующая функция и график зависимости количества нереализуемых назначений от количества БПЛА;
- 2) экстраполирующая функция и график зависимости общей длительности решения от количества БПЛА;
- 3) график зависимости временных затрат на этапах решения от количества БПЛА; 4) график зависимости долей временных затрат на этапах решения от количества БПЛА.

Результаты проведения вычислительного эксперимента.

На рис. 16 показана зависимость количества нереализуемых назначений от количества БПЛА с экстраполирующей функцией $34.45 \exp(0.08046x)$. Зависимость нелинейная, количество нереализуемых назначений может в несколько раз превосходить количество БПЛА в формации.

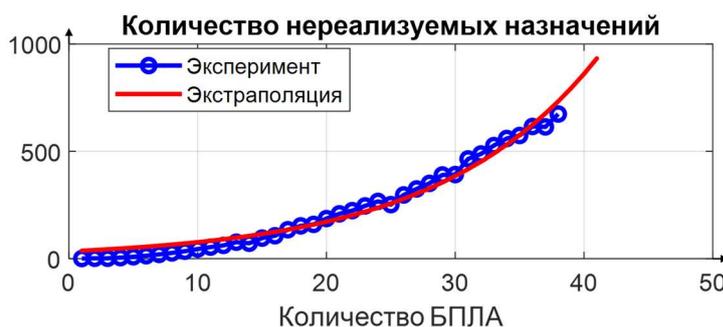


Рис. 16 – Зависимость количества нереализуемых назначений от количества БПЛА

На рис. 17 показана зависимость общей длительности решения от количества БПЛА с экстраполирующей функцией $0.004908 \exp(0.1552x)$.

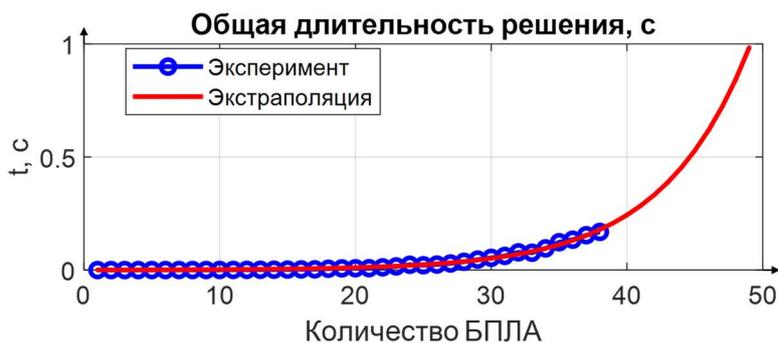


Рис. 17 – Зависимость общей длительности решения от количества БПЛА при наличии нереализуемых назначений

На рис. 18 показана зависимость длительности этапов решения общей задачи от количества БПЛА. Наибольшее количество времени уходит на решение классической задачи о назначениях, проверка реализуемости и определение очередности движения с увеличением количества нереализуемых назначений имеет незначительную длительность.

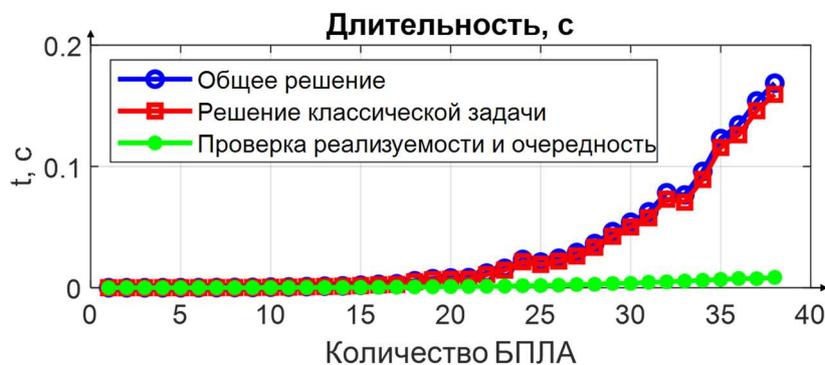


Рис. 18 – Зависимость длительности этапов решения общей задачи от количества БПЛА при наличии нереализуемых назначений

На рис. 19 показана зависимость процентных долей этапов решения общей задачи от количества БПЛА. С ростом количества БПЛА увеличивается количество нереализуемых назначений и длительность решения общей задачи, при этом доля проверки реализуемости и определения очередности движения уменьшается.

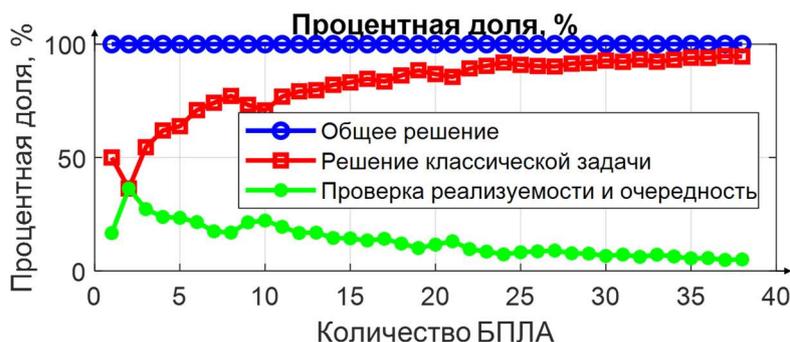


Рис. 19 – Зависимость процентной доли этапов решения общей задачи от количества БПЛА

Из анализа представленных результатов следует, что длительность решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях и определения очередности движения может оказаться узким местом при решении задачи формации при наличии множества нереализуемых назначений из-за повторяющегося решения классической задачи о назначениях. Для уменьшения влияния этого узкого места вместо повторного решения классической задачи о назначениях при выявлении нереализуемого назначения возможно выполнить его замену на назначение, не приводящее к изменению функции стоимости задачи.

Существенной особенностью, которую необходимо учитывать при решении задачи о назначениях целевых положений БПЛА в формации, является количество нереализуемых назначений, которое может в несколько раз превосходить количество БПЛА и нелинейно увеличивать длительность решения.

Управление группой БПЛА в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности в виде последовательности перемещений

На основе полученного решения задачи о реализуемых назначениях целевых положений БПЛА и определении очередности движения в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности возможно синтезировать простейший способ управления в виде последовательности перемещений. Суть способа сводится к последовательному перемещению каждого БПЛА из положения в начальной формации в назначенное целевое положение в конечной формации в соответствии с полученной очередностью движения – перемещение каждого последующего БПЛА начинается после завершения перемещения предыдущего с заданными требованиями к отклонению состояния БПЛА в целевом положении (например, заданные допустимые отклонения по скорости и по расстоянию от конечного положения). При применении этого способа общая длительность реализации формации складывается из длительностей перемещений каждого БПЛА по отдельности.

Заключение

В работе получены результаты исследования задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА и определении очередности движения в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности. Выявлена проблематика классической задачи о назначениях в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности – оптимальные назначения, полученные в результате решения классической задачи, могут быть нереализуемыми. Для устранения выявленной проблемы сформированы условие реализуемости, предложена постановка и решена задача об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА в формации с определением очередности движения. Предложен алгоритм проверки реализуемости назначений и определения очередности движения. Выявлена необходимость учета возможного наличия нереализуемых назначений, количество которых может в несколько раз превосходить количество БПЛА в формации и нелинейно увеличивать длительность решения задачи. Предложен простейший способ управления группой БПЛА в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности в виде последовательности перемещений на основе полученной очередности движения. Полученные результаты вычислительных экспериментов подтверждают необходимость в проверке реализуемости назначений и эффективность предложенного решения задачи об оптимальных реализуемых назначениях – в модельном примере с нереализуемыми назначениями и прямолинейными траекториями для группы с численностью до 32 БПЛА решение возможно получить менее чем за одну секунду, при отсутствии нереализуемых столкновений – до 1024 БПЛА.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Видов К. С. Программно-алгоритмическое обеспечение режима группового самолетовождения. / К. С. Видов, Д. И. Гусев // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2011. – № 44. – 14 с.
2. Гусев Д. И. Решение задачи автоматизации полета группы самолетов. / Д. И. Гусев. // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2012. – № 51. – 21 с.
3. Дьяченко А. А. Задача формирования строя в группе БПЛА / А. А. Дьяченко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Т. 128, № 3. – С. 22-30.
4. Иванов Д. Я. Решение строевой задачи в группе беспилотных квадрокоптеров / Д. Я. Иванов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – Т. 157, № 8. – С. 138-147.
5. Иванов Д. Я. Формирование строя группой беспилотных летательных аппаратов при решении задач мониторинга / Д. Я. Иванов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – Т. 129, № 4. – С. 219-224.
6. Image and animation display with multiple mobile robots. / J. Alonso-Mora, A. Breitenmoser, M. Rufli et al. // The International Journal of Robotics Research. – 2012. – Vol. 31(6). – pp. 753–773. DOI:10.1177/0278364912442095.
7. Fernando M. Formation Control and Navigation of a Quadrotor Swarm. / M. Fernando, L. Liu // 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). – 2019. – P. 284–291, DOI: 10.1109/ICUAS.2019.8798352.
8. Multi-Robot Formation Control via a Real-Time Drawing Interface. Field and Service Robotics / S. Hauri, J. Alonso-Mora, A. Breitenmoser et al. // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2014. – Vol. 92. – P. 175–189. DOI: 10.1007/978-3-642-40686-7_12.
9. Trajectory Planning for Quadrotor Swarms / W. Hoenig, Ap. J. Preiss, T. K. S. Kumar et al. // IEEE Transactions on Robotics. – 2018. – Vol. 34, No. 4. – P. 856–869. DOI: 10.1109/TRO.2018.2853613.
10. Ivanov D. Formation Task in a Group of Quadrotors. / Ivanov D., Kalyaev I., Kapustyan S. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2015. – Vol. 345. – pp. 183–191. DOI:10.1007/978-3-319-16841-8_18.
11. Khachumov M. The model of UAV formation based on the uniform allocation of points on the sphere / M. Khachumov, V. Khachumov // MATEC Web Conf. – Vol. 161, Art.ID: 03022, 2018. – P. 1-4. DOI:10.1051/matecconf/201816103022.
12. Kuhn H.W. The hungarian method for the assignment problem / H. W. Kuhn // Naval Research Logistics Quarterly. – 1955. – Vol. 2 (1-2). – P. 83–97.
13. Liu L. Multi-Robot Formation Morphing through a Graph Matching Problem / L. Liu, D. A. Shell // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2014. – Vol 104. – P. 291–306. DOI:10.1007/978-3-642-55146-8_21.
14. Dell'Amico M. Algorithms and codes for dense assignment problems: the state of the art / . M. Dell'Amico, P. Toth. // Discrete Applied Mathematics. – 2000. – Vol. 100, No. 1–2. – P. 17–48. DOI: 10.1016/S0166-218X(99)00172-9.
15. Munkres J. Algorithms for the assignment and transportation problems / J. Munkres // Journal of Society for Industrial and Applied Mathematics. – 1957. – Vol. 5(1). – P. 32–38.
16. Turpin M. Capt: Concurrent assignment and planning of trajectories for multiple robots / M. Turpin, N. Michael, V. Kumar // The International Journal of Robotics Research. 2014. – Vol. 33. – P. 98–112.

17. Turpin M. Trajectory Planning and Assignment in Multirobot Systems / M. Turpin, N. Michael, V. Kumar // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2013. – Vol. 86. – pp. 175-190. DOI:10.1007/978-3-642-36279-8_11.
18. Goal assignment and trajectory planning for large teams of interchangeable robots / M. Turpin, N. Michael, V. Kumar et al. // Autonomous Robots. – 2014. – Vol. 37(4). – P. 401–415. DOI:10.1007/s10514-014-9412-1.
19. Collision-aware Task Assignment for Multi-Robot Systems. / F. Wu et al. // International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems (MRS) (2019). – 2019. – P. 30–36. DOI:10.1109/MRS.2019.8901059.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vidov K.S. Программно-алгоритмическое обеспечение режима группового самолётовозждения [Software-algorithmic support of the group piloting mode] / K.S. Vidov, D.I. Gusev // *Jelektronnyj zhurnal «Trudy MAI»*. 2011, № 44. 14 p. [in Russian]
2. Gusev D.I. Reshenie zadachi avtomatizacii poleta grupy samoletov [Solving the problem of automating the flight of a group of aircraft] / D.I. Gusev // *Jelektronnyj zhurnal «Trudy MAI»*. № 51, 2012. 21 p. [in Russian]
3. D'jachenko A.A. Zadacha formirovanija stroja v grupe BPLA [The task of forming structure in group of UAVs] / A.A. D'jachenko // *Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2012. V. 128, № 3. P. 22–30. [in Russian]
4. Ivanov D.Ja. Reshenie stroevoj zadachi v grupe bespilotnyh kvadrokopterov [Solving of a formation task in a group of unmanned quadrotors] / D.Ja. Ivanov // *Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2014. V. 157, № 8. P. 138–147. [in Russian]
5. Ivanov D.Ja. Formirovanie stroja gruppoy bespilotnyh letatel'nyh apparatov pri reshenii zadach monitoring [Formation of structure by group of unmanned aerial vehicles in tasks of monitoring] // *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki*. 2012. V. 129, № 4. P. 219-224. [in Russian]
6. Image and animation display with multiple mobile robots. / J. Alonso-Mora, A. Breitenmoser, M. Rufli et al. // *The International Journal of Robotics Research*. – 2012. – Vol. 31(6). – pp. 753–773. DOI:10.1177/0278364912442095.
7. Fernando M. Formation Control and Navigation of a Quadrotor Swarm. / M. Fernando, L. Liu // 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). – 2019. – P. 284–291, DOI: 10.1109/ICUAS.2019.8798352.
8. Multi-Robot Formation Control via a Real-Time Drawing Interface. Field and Service Robotics / S. Hauri, J. Alonso-Mora, A. Breitenmoser et al. // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2014. – Vol. 92. – P. 175–189. DOI: 10.1007/978-3-642-40686-7_12.
9. Trajectory Planning for Quadrotor Swarms / W. Hoenig, Ap. J. Preiss, T. K. S. Kumar et al. // *IEEE Transactions on Robotics*. – 2018. – Vol. 34, No. 4. – P. 856–869. DOI: 10.1109/TRO.2018.2853613.
10. Ivanov D. Formation Task in a Group of Quadrotors. / Ivanov D., Kalyaev I., Kapustyan S. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2015. – Vol. 345. – pp. 183–191. DOI:10.1007/978-3-319-16841-8_18.
11. Khachumov M. The model of UAV formation based on the uniform allocation of points on the sphere / M. Khachumov, V. Khachumov // *MATEC Web Conf.* – Vol. 161, Art.ID: 03022, 2018. – P. 1-4. DOI:10.1051/mateconf/201816103022.
12. Kuhn H.W. The hungarian method for the assignment problem / H. W. Kuhn // *Naval Research Logistics Quarterly*. – 1955. – Vol. 2 (1-2). – P. 83–97.
13. Liu L. Multi-Robot Formation Morphing through a Graph Matching Problem / L. Liu, D. A. Shell // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2014. – Vol 104. – P. 291–306. DOI:10.1007/978-3-642-55146-8_21.
14. Dell'Amico M. Algorithms and codes for dense assignment problems: the state of the art / M. Dell'Amico, P. Toth. // *Discrete Applied Mathematics*. – 2000. – Vol. 100, No. 1–2. – P. 17–48. DOI: 10.1016/S0166-218X(99)00172-9.
15. Munkres J. Algorithms for the assignment and transportation problems / J. Munkres // *Journal of Society for Industrial and Applied Mathematics*. – 1957. – Vol. 5(1). – P. 32–38.
16. Turpin M. Capt: Concurrent assignment and planning of trajectories for multiple robots / M. Turpin, N. Michael, V. Kumar // *The International Journal of Robotics Research*. 2014. – Vol. 33. – P. 98–112.
17. Turpin M. Trajectory Planning and Assignment in Multirobot Systems / M. Turpin, N. Michael, V. Kumar // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2013. – Vol. 86. – pp. 175-190. DOI:10.1007/978-3-642-36279-8_11.
18. Goal assignment and trajectory planning for large teams of interchangeable robots / M. Turpin, N. Michael, V. Kumar et al. // Autonomous Robots. – 2014. – Vol. 37(4). – P. 401–415. DOI:10.1007/s10514-014-9412-1.
19. Collision-aware Task Assignment for Multi-Robot Systems. / F. Wu et al. // International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems (MRS) (2019). – 2019. – P. 30–36. DOI:10.1109/MRS.2019.8901059.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.017>

МОДЕЛИРОВАНИЕ RSA-ШИФРОВАНИЯ В MS EXCEL

Научная статья

Трофимец Е.Н.*

ORCID: 0000-0003-4873-2801,

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (ezemifort[at]inbox.ru)

Аннотация

Статья посвящена математическим и прикладным аспектам шифрования данных по алгоритму RSA. Рассмотрены два основных метода шифрования. Представлены и описаны основные шаги алгоритма шифрования данных по схеме RSA. Приведена задача с последовательными этапами действий кодирования, передачи и расшифровки сообщения с использованием алгоритма шифрования RSA в MS Excel. Обоснована актуальность применения метода возведения в квадрат и умножения с использованием схемы «справа налево».

Аргументировано, что криптостойкость RSA основывается на сложности разложения на множители больших чисел, а именно – на исключительной трудности задачи определить секретный ключ на основании открытого, так как для этого требуется решить задачу о существовании делителей целого числа.

Ключевые слова: криптография, криптостойкость, алгоритм RSA, шифрование.

MODELING RSA ENCRYPTION IN MS EXCEL

Research article

Trofimets E.N.*

ORCID: 0000-0003-4873-2801,

Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (ezemifort[at]inbox.ru)

Abstract

The article discusses mathematical and applied aspects of data encryption using the RSA algorithm. Two main encryption methods are examined. The study presents and describes the main steps of the RSA data encryption algorithm. The author presents a problem with sequential steps of encoding, transmitting, and decrypting a message using the RSA encryption algorithm in MS Excel; the relevance of the application of the squaring and multiplication method using the "right to left" scheme is also substantiated.

It is argued that the cryptographic strength of RSA is based on the complexity of factoring large numbers, namely, on the exceptional difficulty of determining the secret key based on the public key, since this requires solving the problem of the existence of integer divisors.

Keywords: cryptography, cryptographic strength, RSA algorithm, encryption.

Введение

Надежность и защита данных в системах автоматизации связаны с криптографией. Математические и прикладные аспекты шифрования данных по алгоритму RSA являются инструментом криптографии.

В зависимости от структуры используемых ключей методы шифрования подразделяются на два основных вида:

1) *Симметричное шифрование*: посторонним лицам может быть известен алгоритм шифрования, но неизвестна небольшая порция секретной информации – ключа, одинакового для отправителя и получателя сообщения. Примеры: DES, 3DES, AES, Blowfish, Twofish, ГОСТ 28147-89.

2) *Асимметричное шифрование*: посторонним лицам может быть известен алгоритм шифрования и открытый ключ, но неизвестен закрытый ключ, известный только получателю. Криптографические системы с открытым ключом в настоящее время широко применяются в различных сетевых протоколах, в частности, в протоколах TLS и его предшественнике SSL (лежащих в основе HTTPS), а также SSH, PGP, S/MIME и т. д. Российский стандарт, использующий асимметричное шифрование ГОСТ Р 34.10-2001.

Научные результаты и их новизна

Научные результаты состоят в разработанной оригинальной компьютерной модели криптосистемы RSA в MS Excel, которая позволяет продемонстрировать сложность задачи факторизации произведения двух больших простых чисел и осуществить оценку ее криптостойкости.

Новизна результатов заключается в новом подходе к исследованию математических и прикладных аспектов криптографического алгоритма RSA, отличающегося от известных наглядной и оригинальной демонстрацией операций шифрования и дешифрования коротких сообщений с использованием схемы быстрого возведения в степень.

Методы и принципы исследования

На данный момент асимметричное шифрование на основе открытого ключа RSA (расшифровывается, как Rivest, Shamir and Aldeman – это фамилии создателей алгоритма) использует большинство продуктов на рынке информационной безопасности [1], [2], [3], [6].

Хотя RSA может теоретически использоваться для шифрования и дешифрования любых реальных сообщений, на практике его наиболее часто применяют для относительно коротких сообщений. В частности, он применяется в цифровых подписях и других криптографических системах, которые нужны для шифрования коротких сообщений без доступа к симметричному ключу.

Криптостойкость RSA основывается на сложности разложения на множители больших чисел, а именно – на исключительной трудности задачи определить секретный ключ на основании открытого, так как для этого потребуется решить задачу о существовании делителей целого числа. Наиболее криптостойкие системы используют 1024-битовые и большие ключи.

Примечание: В 2003 г. Ади Шамир и Эран Тромер разработали (на теоретическом уровне) схему специализированного TWIRL-компьютера для взлома RSA-ключей. По их оценке вариант TWIRL-компьютера стоимостью в 10 000 \$ позволит дешифровать 512-битовый ключ за 10 минут, а в варианте стоимостью в 10 000 000 \$ – 1024-битовый ключ примерно за год. В настоящее время нет сведений об эффективном взломе 1024-битовых ключей. Тем не менее, лаборатория RSA рекомендует в настоящее время использовать ключи размером 2048 бит.

Математические и прикладные аспекты шифрования данных используются при моделировании RSA-шифрования [1], [2], [3], [6]. Рассмотрим основные шаги алгоритма шифрования данных по схеме RSA.

Шаг 1. Генерация ключей

1. Выбираются два больших простых числа p и q (числа p и q называются порождающими числами).

Примечание: Простое число – целое положительное число, большее единицы, и не имеющее других делителей, кроме самого себя и единицы.

2. Вычисляется произведение порождающих чисел $N = p \times q$ (число N называется модулем).

3. Вычисляется функция Эйлера: $\varphi(N) = (p-1)(q-1)$.

Примечания:

1. Результат расчета данной функции равен количеству положительных чисел, не превосходящих N и взаимно простых с N .

2. Взаимно простые числа – целые числа, не имеющие общих делителей кроме 1. Например, 14 и 25 взаимно простые числа, так как у них нет общих делителей, кроме 1, т.е. НОД (14, 25) = 1 (НОД – наибольший общий делитель).

3. Порождающие числа p и q в дальнейшем не нужны, поэтому они уничтожаются безопасным образом.

4. Выбирается открытый ключ e , который должен удовлетворять следующим условиям:

$$1 < e < \varphi N, \quad (1)$$

НОД(e , $\varphi(N)$) = 1, т.е. e и $\varphi(N)$ – взаимно простые числа.

5. Определяется секретный ключ d , исходя из выполнения условий (2):

$$\begin{aligned} d < N, \\ (e \cdot d) \bmod \varphi N = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Примечание: mod – деление с остатком. Например: $11 \bmod 3 = 2$ (проверка: $11 = 3 \times 2 + 2$); $128 \bmod 33 = 29$ (проверка: $128 = 33 \times 3 + 29$); $7 \bmod 90 = 7$ (проверка: $7 = 90 \times 0 + 7$).

6. Пара (N , e) объявляется открытым ключом абонента и публикуется открыто в общедоступном сертифицированном справочнике, где исключается возможность его подмены (Рисунок 1).

Абонент	Открытый ключ
A	(N_A, e_A)
B	(N_B, e_B)
C	(N_C, e_C)

Рис. 1 – Ключ абонента

Ключ d является секретным ключом абонента и держится им в секрете.

Примечание: Выбор e в качестве открытого ключа, а d – в качестве секретного, является совершенно условным. Оба ключа совершенно равноправны. В качестве открытого ключа можно взять d , а в качестве закрытого – e . Главное – закрытый ключ хранить в тайне.

Шаг 2. Шифрование сообщения (действия на стороне отправителя)

7. Исходное сообщение разбивается на блоки, каждый из которых может быть представлен в виде десятичного числа M_i . При этом должно выполняться условие (3):

$$M_i < N \quad (3)$$

Примечание: Следует отметить, что порождающие числа p и q выбираются таким образом, чтобы N было больше кода любого символа открытого сообщения. В автоматизированных системах исходное сообщение переводится в двоичное представление, после чего шифрование выполняется над блоками бит, равной длины. При этом длина блока должна быть меньше, чем длина двоичного представления N .

8. Текст открытого (исходного) сообщения шифруется открытым ключом получателя по формуле (4):

$$C_i = M_i^e \bmod N \quad (4)$$

где C_i – i -й символ шифрограммы, представленный в десятичном коде; M_i – i -й символ исходного сообщения, представленный в десятичном коде.

Зашифрованное сообщение (шифрограмма) отправляется получателю.

Шаг 3. Расшифровка шифрограммы (действия на стороне получателя)

9. Принятая шифрограмма расшифровывается с использованием секретного ключа получателя по формуле (5):

$$M_i = C_i^d \bmod N . \quad (5)$$

Перейдем к постановке задачи:

Два абонента, Олег и Сергей, передают друг другу данные с использованием алгоритма шифрования RSA. Смоделируем:

а) передачу сообщения *ПРИВЕТ_СЕРГЕЙ* от Олега → Сергею.

б) расшифровку полученного сообщения на стороне Сергея.

Коды букв соответствуют их положению в английском алфавите. Для символа () используется код 0.

Для генерации открытого и секретного ключей Сергей использует порождающие числа $p = 3$ и $q = 11$.

Решение:

1. Открываем файл **Исследование RSA.xlsx**. В таблицу **Генерация ключей** (Рисунок 2) заносим значения p и q Сергея. Вводим формулы для вычисления N и $\phi(N)$.

Генерация ключей		
	Олег	Сергей
p		3
q		11
N		33
$\phi(N)$		20

Рис. 2 – Генерация ключей

2. Случайным образом выбираем открытый ключ e , при этом проверяем выполнение условий (1).

Для подбора ключа e вводим с клавиатуры в ячейку **J10** целые числа и проверяем значение в ячейке **J14** (в эту ячейку введена функция **НОД**, вычисляющая наибольший общий делитель для ячеек **J9** и **J10**). Если **J14 = 1**, то введенное в ячейку **J10** число подходит в качестве открытого ключа e . Условиям (1) удовлетворяют числа: 3, 7, 9, 11, 13, 17, 19.

Для возможности последующего выполнения в Excel операций возведения чисел в большие степени выбираем в качестве открытого ключа e наименьшее из возможных чисел, т.е. число 3 (Рисунок 3).

Генерация ключей		
	Олег	Сергей
p		3
q		11
N		33
$\phi(N)$		20
e		3
d		
Проверка подбора ключей		
e		1

Рис. 3 – Проверка подбора ключей – этап 1

3. Подбираем вручную значение секретного ключа d , чтобы выполнялись условия (2).

Используем функцию **ОСТАТ** (категория **Математические**), которая реализует операцию **mod** (остаток от деления).

После этого начинаем вводить с клавиатуры в ячейку **J11** целые числа и проверяем значение в ячейке **J15**. Если **J15 = 1**, то введенное в ячейку **J11** число подходит в качестве секретного ключа d (Рисунок 4).

$\Phi(N)$		20
e		3
d		7
Проверка подбора ключей		
e		1
d		1

Рис. 4 – Проверка подбора ключей – этап 2

4. Используя формулу (4) зашифруем коды символов открытым ключом Сергея (Рисунок 5).

Символы и их шифрограммы					
№ п/п	Символ	Код символа	Шифрограмма символа (откр. ключ Олега)	Шифрограмма символа (откр. ключ Сергея)	Символ
1	А	1		1	А
2	Б	2		8	Б
3	В	3		27	В
4	Г	4		31	Г
5	Д	5		26	Д

Рис. 5 – Символы и их шифрограммы

5. Используем функцию **ВПР** (категория **Ссылки и массивы**), составим шифрограмму сообщения **ПРИВЕТ_СЕРГЕЙ** (Рисунок 6).

Шифрограмма сообщения от Олега ---> Сергею								
Открытое сообщение	П	Р	И	В	Е	Т	_	С
Шифрограмма сообщения	4	29	3	27	18	28	0	24

Рис. 6 – Шифрограмма сообщения

Примечание: Функцию **ВПР** используем в режиме точного поиска, т.е. аргумент *Интервальный_просмотр* = 0. Функция **ВПР** ищет значение в крайнем левом столбце таблицы и возвращает значение ячейки, находящейся в указанном столбце той же строки (так как аргумент *Интервальный_просмотр* = 0, то сортировку таблицы не производим).

6. Используя формулу (5), расшифруем шифрограмму, полученную от Олега (Рисунок 7).

Расшифровка полученной шифрограммы Сергеем								
Шифрограмма сообщения	4	29	3	27	18	28	0	24
Расшифрованная шифрограмма	16	17	9	3	6	19	0	18

Рис. 7 – Расшифровка шифрограммы – этап 1

7. Используя функцию **ВПР**, составим исходное сообщение, отправленное Олегом (Рисунок 8).

Расшифровка полученной шифрограммы Сергеем								
Шифрограмма сообщения	4	29	3	27	18	28	0	24
Расшифрованная шифрограмма	16	17	9	3	6	19	0	18
Сообщение	П	Р	И	В	Е	Т	_	С

Рис. 8 – Расшифровка шифрограммы – этап 2

8. Создадим копию листа **Основы RSA**. Переименуем лист **Основы RSA (2)** в **Расширение RSA**.

9. Допустим, что для кодирования символов используется кодовая таблица Windows-1251. Закодируем все символы, представленные в таблице **Символы и шифрограммы**, в соответствии с данной кодировкой. Для этого воспользуемся функцией **КОДСИМВ** (категория **Текстовые**), рисунок 9.

Символы и их шифрограммы				
№ п/п	Символ	Код символа	Шифрограмма символа (откр. ключ Олега)	Ш (откр)
1	А	192		
2	Б	193		
3	В	194		
4	Г	195		

Рис. 9 – Символы и их шифрограммы

Обращаем внимание, что исходное сообщение не может быть составлено, так как расшифровка шифрограммы происходит некорректно из-за нарушения условия (3), рисунок 10.

Расшифровка полученной шифрограммы Сергеем								
Шифрограмма сообщения	3	10	8	2	32	12	2	11
Расшифрованная шифрограмма	9	10	2	29	32	12	29	11
Сообщение	#Н/Д							

Рис. 10 – Некорректная расшифровка шифрограммы

10. Выбираем новые порождающие числа $p = 17$ и $q = 19$. Обращаем внимание, что вычисленное значение $N = p \times q = 17 \times 19 = 323 > M_i$.

Выбираем открытый ключ e , при этом проверяем выполнение условий (1). Условиям (1) удовлетворяют числа: 5, 7, 11, 13, 17 и т.д. Для возможности последующего выполнения в Excel операций возведения чисел в большие степени выбираем в качестве открытого ключа e наименьшее из возможных чисел, т.е. число 5 (Рисунок 11).

Генерация ключей		
	Олег	Сергей
p		17
q		19
N		323
$\varphi(N)$		288
e		5
d		7
Проверка подбора ключей		
e		1
d		35

Рис. 11 – Проверка подбора ключей – этап 1

11. Подбор вручную секретного ключа d для рассматриваемой ситуации является достаточно затруднительной операцией, поэтому воспользуемся следующей формулой:

$$d = e^{(\varphi(N)-1)} \bmod \varphi(N). \quad (6)$$

Вводим формулу (6) в ячейку **J11** – обращаем внимание, что она возвращает значение ошибки #ЧИСЛО! (Рисунок 12). Причиной этого является невозможность нахождения в Excel точного значения выражения $e^{(\varphi(N)-1)} = e^{(288-1)} = e^{287}$ с использованием стандартного оператора возведения в степень.

$\varphi(N)$		288
e		5
d		#ЧИСЛО!
Проверка подбора ключей		
e		1
d		#ЧИСЛО!

Рис. 12 – Проверка подбора ключей – этап 2

Вычисляем выражение $e^{287} \bmod 288$ с использованием программы **Калькулятор** (вид **Инженерный**), входящей в группу стандартных программ Windows. Удаляем из ячейки **J11** введенную формулу и заносим в неё вычисленное значение d .

Проверяем правильность подбора вычисленного секретного ключа d по значению в ячейке **J11** (Рисунок 13).

$\Phi(N)$		288
e		5
d		173
Проверка подбора ключей		
e		1
d		1

Рис. 13 – Проверка подбора ключей – этап 3

12. В качестве передаваемого сообщения от Олега → Сергею вводим слово *СЕТЬ*. Недействующие ячейки очищаем (Рисунок 14).

Шифrogramма сообщения от Олега ---> Сергею					
Открытое сообщение	С	Е	Т	Ь	
Шифrogramма сообщения	133	125	58	254	

Рис. 14 – Шифrogramма сообщения

13. Обращаем внимание, что при дешифровке полученной шифrogramмы с использованием функции **ОСТАТ** возвращается значение ошибки **#ЧИСЛО!** (Рисунок 15).

Расшифровка полученной шифrogramмы Сергеем					
Шифrogramма сообщения	133	125	58	254	
Расшифрованная шифrogramма	#ЧИСЛО!	#ЧИСЛО!	#ЧИСЛО!	#ЧИСЛО!	
Сообщение	#ЧИСЛО!	#ЧИСЛО!	#ЧИСЛО!	#ЧИСЛО!	

Рис. 15 – Расшифровка полученной шифrogramмы

Дешифруем полученную шифrogramму, используя программу **Калькулятор**. Удаляем из ячеек функцию **ОСТАТ** и заносим в них дешифрованные коды символов. При правильной дешифровке будет сформировано слово *СЕТЬ* (Рисунок 16).

Расшифровка полученной шифrogramмы Сергеем (с использованием программы Калькулятор)					
Шифrogramма сообщения	133	125	58	254	
Расшифрованная шифrogramма	209	197	210	220	
Сообщение	С	Е	Т	Ь	

Рис. 16 – Расшифровка полученной шифrogramмы с использованием программы «Калькулятор»

14. Смоделируем передачу сообщения *ТЕКСТ_ПОЛУЧИЛ* от Сергея → Олегу, если для генерации открытого и секретного ключей Олег использует порождающие числа $p = 59$ и $q = 73$.

В таблицу **Генерация ключей** заносим значения p и q Олега. Определяем N и $\Phi(N)$, (рисунок 17).

Генерация ключей		
	Олег	Сергей
p	59	17
q	73	19
N	4307	323
$\Phi(N)$	4176	288
e		5
d		173

Рис. 17 – Генерация ключей

15. Допустим, Олег выбрал открытый ключ $e = 737$. В ячейку **П14** скопируем из ячейки **Л14** функцию **НОД**, проверим выполнение условия (1), (рисунок 18).

$\Phi(N)$	4176	288
e	737	5
d		173
Проверка подбора ключей		
e	1	1
d		1

Рис. 18 – Проверка подбора ключей

В ячейку **П15** скопируем из ячейки **Л15** функцию **ОСТАТ**. Используя программу **Калькулятор** вычисляем значение секретного ключа d по формуле (6). Обращаем внимание на сообщение программы **Калькулятор** (Рисунок 19).

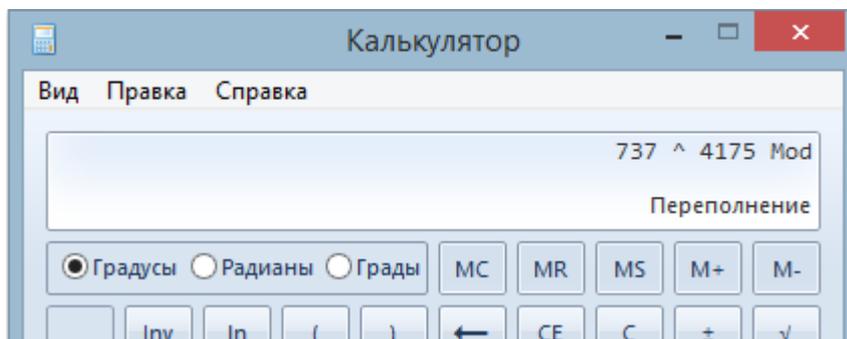


Рис. 19 – Программа «Калькулятор»

16. Полученное выражение 737^{4175} не может быть вычислено программой **Калькулятор**. Следует заметить, что большинство компьютерных языков и прикладных программ не имеет операторов, которые могут эффективно вычислять степень для очень больших чисел. Чтобы можно было выполнять данную операцию, используют специальные алгоритмы. Для рассматриваемой ситуации интерес представляют алгоритмы, способные вычислить выражение:

$$y = a^x \text{ mod } m \tag{7}$$

при больших x .

Такие алгоритмы получили название *алгоритмов быстрого возведения в степень по модулю*. Наиболее известными из них являются: метод с использованием Китайской теоремы об остатках, метод возведения в квадрат и умножения, метод Монгтомери возведения в степень, алгоритм с использованием «школьного» метода.

Рассмотрим *метод возведения в квадрат и умножения* с использованием схемы «справа налево», который можно достаточно просто реализовать в MS Excel. Рассмотрение метода проведем на конкретном примере вычисления секретного ключа Олега с использованием выражения:

$$737^{4175} \text{ mod } 4176.$$

а) Подготовим таблицу для ввода исходных данных (Рисунок 20).

Вычисление секретного ключа Олега методом возведения в квадрат и умножения (схема «справа налево»)			
Число (a)	737	<--- e - открытый ключ Олега	
Степень (x)	4175	<--- $\Phi(N)-1$	
Модуль (m)	4176	<--- $\Phi(N)$	

Рис. 20 – Вычисление секретного ключа методом возведения в квадрат и умножения с использованием схемы «справа налево»

б) Показатель степени $x = 4175$ представим в двоичной системе счисления и запишем полученное значение в обратном порядке с выделением разрядов (Рисунок 21).

Модуль (m)	4176	<--- $\phi(N)$					
Степень дв.	1000001001111						
Число разрядов	13						
Номер разряда	13	12	11	10	9	8	7
Степ. дв. обр. Текст	1	1	1	1	0	0	1
Степ дв. обр. Число	1	1	1	1	0	0	1

Рис. 21 – Показатель степени в двоичной системе счисления

Для представления числа в двоичной системе счисления воспользуемся функцией **ОСНОВАНИЕ** из категории **Математические** (функция доступна в версиях Excel 2013 и более поздних) или программой **Калькулятор** (вид **Программист**).

Примечание: В ранних версиях Excel в категории **Инженерные** имеется функция **ДЕС.В.ДВ**, которая выполняет преобразование чисел из диапазона от -512 до 511, что для рассматриваемого примера является недостаточным. Функция **ОСНОВАНИЕ** выполняет преобразование чисел от 0 до 2^{33} .

Для подсчета числа разрядов двоичного числа воспользуемся функцией **ДЛСТР** (категория **Текстовые**).

Номера разрядов двоичного числа вводим вручную, начиная с 13 и до 1 (для последующего выделения разрядов в обратном порядке).

Для выделения разрядов из двоичного числа воспользуемся функцией **ПСТР** (категория **Текстовые**). Результатом будет поразрядное представление двоичного числа в обратном порядке (1111001000001), поэтому рассматриваемая схема и называется «справа налево».

Так как функция **ПСТР** возвращает текстовые значения, то для последующих расчетов их необходимо преобразовать в числовые. Для этого воспользуемся функцией **ЗНАЧЕН** (категория **Текстовые**).

в) Разработаем расчетную таблицу (Рисунок 22).

Степ дв. обр. Число	1	1	1	1
№ п/п	Степень дв. обр.	y_i		
1	1	737	<--- $737 \bmod 4176$	
2	1	289	<--- $737^2 \bmod 4176$	
3	1	1	<--- $289^2 \bmod 4176$	
4	1	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
5	0	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
6	0	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
7	1	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
8	0	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
9	0	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
10	0	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
11	0	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
12	0	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
13	1	1	<--- $1^2 \bmod 4176$	
	Произведение Y	212993		
	Секр. ключ d	17		

Рис. 22 – Расчетная таблица

В столбце **Степень дв. обр.** приведено двоичное представление степени x в обратном порядке (вверху младшие разряды, внизу – старшие), для чего необходимо транспонировать (развернуть на 90 градусов) значения из строки **Степ дв. обр.** Для этого воспользуемся функцией **ТРАНСП** (категория **Ссылки и массивы**), которая должна быть введена как формула массива. Порядок действий следующий:

- вводим функцию **ТРАНСП** в первую ячейку столбца **Степень дв. обр.**;
- выделяем все ячейки столбца **ТРАНСП**, ставим курсор в строку формул;
- нажимаем комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+Enter**.

Первое значение в столбце y_i рассчитывается по формуле:

$$y_1 = e \bmod \phi(N) = 737 \bmod 4176 = 737.$$

Дальнейшие вычисления производятся по рекуррентной формуле:

$$y_i = (y_{i-1})^2 \bmod \phi(N). \quad (8)$$

Вводим соответствующие формулы в столбец y_i .

Основные результаты

Для нахождения итогового произведения Y необходимо перемножить y_i , которым соответствует 1 в двоичном представлении степени (столбец **Степень, дв. обр.**). Для рассматриваемого примера имеем:

$$Y = y_1 \times y_2 \times y_3 \times y_4 \times y_7 \times y_{13}.$$

Для автоматизации данного расчета вводим в ячейку **Произведение Y** следующую формулу:

$$=ПРОИЗВЕД(ЕСЛИ(Диапазон_двоичных_разрядов=1; Диапазон_y_i; 1)).$$

Данная формула должна быть введена как формула массива, т.е. с использованием комбинации клавиш **Ctrl+Shift+Enter**.

Примечание: Суть формулы состоит в том, что если разряд в двоичном представлении степени равен 1, то в итоговое произведение Y в качестве сомножителя будет входить y_i , в противном случае в качестве сомножителя будет входить 1. Для рассматриваемого примера имеем: $Y = y_1 \times y_2 \times y_3 \times y_4 \times 1 \times 1 \times y_7 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times y_{13}$.

Секретный ключ d рассчитывается по формуле:

$$d = Y \bmod \varphi(N).$$

17. В рассматриваемом примере легко подобрать такие порождающие числа p и q , что при расчете d даже с использованием рассмотренного выше метода возникает переполнение и возвращается значение ошибки #ЧИСЛО. Кроме того, операцию возведения в большие степени необходимо будет повторить достаточно большое число раз при кодировании символов открытым ключом Олега и при дешифровке полученной шифрограммы на стороне Сергея. Поэтому возникает потребность в написании специальной функции на языке VBA, которая позволит решать данную задачу более эффективно.

Функция VBA подготовлена, её необходимо импортировать в программный модуль проекта и использовать на рабочем листе Excel [7], [8], [9], [10].

Для возможности использования функций, написанных на языке VBA, необходимо сохранить рабочую книгу с поддержкой макросов (**Сохранить как – Книга Excel с поддержкой макросов (*.xlsm)**).

Для импорта функции выполняем следующие действия:

- переходим в среду VBA (вкладка **Разработчик – Visual Basic** или комбинация кнопок **Alt+F11**);
- вставим программный модуль (**Insert – Module**);
- импортируем функцию **СтепеньПоМодулю** из файла **Функция СтепеньПоМодулю 32.bas (Insert – File)**. При импорте выбираем тип файла **Basic Files (*.bas)** или **All Files (*.*)**.

Если используется 64-разрядная версия MS Office, то можно импортировать функцию **СтепеньПоМодулю** из файла **Функция СтепеньПоМодулю 64.bas**, в которой для переменных используется тип данных **LongLong**, позволяющий хранить 8-байтовые целые числа в диапазоне от -9 223 372 036 854 775 808 до 9 223 372 036 854 775 807 (в 32-разрядной версии функции используется тип данных **Long**, позволяющий хранить 4-байтовые целые числа в диапазоне от -2 147 483 648 до 2 147 483 647);

- нажимаем кнопку **Save**, закрываем окно VBA и переходим на рабочий лист.

18. Протестируем импортированную функцию **СтепеньПоМодулю** (категория **Определенные пользователем**), вычислив с её помощью секретный ключ d (Рисунок 23).

1	1	<--- $1^2 \bmod 4176$
Произведение Y	212993	
Секр. ключ d	17	
Секр. ключ d (VBA)	17	

Рис. 23 – Вычисление секретного ключа

19. Используем функцию **СтепеньПоМодулю** для кодирования символов открытым ключом Олега (Рисунок 24).

№ п/п	Символ	Код символа	Шифрограмма символа (откр. ключ Олега)
1	А	192	3331
2	Б	193	1520
3	В	194	695
4	Г	195	873
5	Д	196	711
6	Е	197	1730
7	Ж	198	2671

Рис. 24 – Кодирование символов открытым ключом

20. Путем копирования создадим шаблон для шифрования сообщения *ТЕКСТ_ПОЛУЧИЛ*, передаваемого от Сергея → Олегу, и шаблон для расшифровки полученной шифрограммы на стороне Олега (Рисунок 25).

Шифрограмма сообщения от Сергея ---> Олегу										
Открытое сообщение	Т	Е	К	С	Т	_	П	О	Л	У
Шифрограмма сообщения										
Расшифровка полученной шифрограммы Олегом (с использованием функции СтепеньПоМодулю)										
Шифрограмма сообщения										
Расшифрованная шифрограмма										
Сообщение										

Рис. 25 – Шифрограмма сообщения и расшифровка шифрограммы

21. Используя функцию **ВПП**, составим шифрограмму сообщения *ТЕКСТ_ПОЛУЧИЛ* (Рисунок 26).

Шифрограмма сообщения от Сергея ---> Олегу									
Открытое сообщение	Т	Е	К	С	Т	_	П	О	
Шифрограмма сообщения	592	1730	737	3713	592	241	505	2091	

Рис. 26 – Шифрограмма сообщения

22. Используя функцию **СтепеньПоМодулю**, расшифруем шифрограмму, полученную от Сергея (рисунок 27).
Примечание: в качестве второго аргумента функции **СтепеньПоМодулю** используем значение секретного ключа *d*.

Расшифровка полученной шифрограммы Олегом (с использованием функции СтепеньПоМодулю)									
Шифрограмма сообщения	592	1730	737	3713	592	241	505	2091	
Расшифрованная шифрограмма	210	197	202	209	210	95	207	206	

Рис. 27 – Расшифровка шифрограммы – этап 1

23. Используя функцию **ВПП**, составим исходное сообщение, отправленное Сергеем (Рисунок 28).

Расшифровка полученной шифрограммы Олегом (с использованием функции СтепеньПоМодулю)									
Шифрограмма сообщения	592	1730	737	3713	592	241	505	2091	
Расшифрованная шифрограмма	210	197	202	209	210	95	207	206	
Сообщение	Т	Е	К	С	Т	_	П	О	

Рис. 28 – Расшифровка шифрограммы – этап 2

Обсуждение

Криптостойкость RSA основывается на сложности разложения на множители больших чисел, а именно – на исключительной трудности задачи определить секретный ключ на основании открытого, так как для этого требуется решить задачу о существовании делителей целого числа.

В рассмотренном примере использовались 6-битовое ($p = 59$) и 7-битовое ($q = 73$) порождающие числа для формирования ключей, тем не менее даже при такой малой размерности в ряде случаев пришлось прибегнуть к нестандартным вычислениям. В реальных системах используются, как правило, 1024-битовые ключи, а наиболее криптостойкие системы используют 2048-битовые ключи.

Заключение

Таким образом алгоритм RSA имеет большую практическую значимость и получил широкое распространение в различных сетевых протоколах, а также в электронной цифровой подписи.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Matrokhina, K. V. Ensuring information security in corporate communication systems / K. V. Matrokhina, A. V. Makhovikov, E. N. Trofimets, // E3S Web of Conferences 266, 09001 (2021). – TOPICAL ISSUES, 2021. – DOI: 10.1051/e3sconf/202126609001.

2. Козлов А. А. Разработка функции связывания ключей в ARX-алгоритмах стохастического преобразования данных / А. А. Козлов // Безопасность информационных технологий. – 2021. – Т. 28. № 4. – С. 63-73.

3. Запечников С. В. Конфиденциальное машинное обучение на основе двусторонних протоколов безопасных вычислений / Запечников С. В., Щербаков А. Ю. // Безопасность информационных технологий. – 2021. – Т. 28. № 4. – С. 39-51.

4. Артемчук К. И. Математические основы алгоритма RSA / Артемчук К. И. // Некоторые вопросы анализа, алгебры, геометрии и математического образования, Воронежский государственный педагогический университет. – 2016. – №5-2. – С. 17.

5. Гуринец К. Р. Алгоритм шифрования RSA / К. Р. Гуринец // Новые информационные технологии в науке. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 32-35.

6. Волокитина Т.С. Надежность реализаций алгоритма RSA / Т.С. Волокитина // Современные научные исследования и инновации. – 2021. – №4 (120). – [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/> (дата обращения: 12.03.2022)

7. Trofimets, E. N. On the identification of bearings of active interference sources / Trofimets, E.N., Mazakov, E.V., Trofimets, V. Ya. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE), Journal of Physics: Conf. Ser. 1047, 12146. – 2021.

8. Маховиков А.Б. К вопросу разработки протокола защиты информации в корпоративных системах IP-Телефонии / А. Б. Маховиков, К. В. Матрохина, Е. Н. Трофимец // Научно-аналитический журнал вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2020. – №2. – С. 52-59.

9. Родин А. К. Совершенствование технологии программирования логических контроллеров на основе технологии TEXT MINING / А. К. Родин, Д. Макарова, Е. Н. Трофимец // Научно-аналитический журнал вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, – 2019. – № 3. – С. 55-62.

10. Трофимец Е. Н. Анализ существующих формальных подходов к определению понятия «Сложная задача» / Е. Н. Трофимец, В. Я. Трофимец // Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики». Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – №11. – С.113-116.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Matrokhina, K. V. Ensuring information security in corporate communication systems / K. V. Matrokhina, A. V. Makhovikov, E. N. Trofimets // E3S Web of Conferences 266, 09001 (2021). – TOPICAL ISSUES, 2021. – DOI:10.1051/e3sconf/202126609001,

2. Kozlov A. A. Razrabotka funkcii svyazyvaniya kljuchej v ARX-algoritmah stohasticheskogo preobrazovaniya dannyh [Development of the Key Binding Function in Arx Algorithms of Stochastic Data Transformation] / A. A. Kozlov // Bezopasnost' informacionnyh tehnologij [Information Technology Security]. – 2021. – Vol. 28. № 4. – pp. 63-73. [in Russian]

3. Zapechnikov S. V. Konfidencial'noe mashinnoe obuchenie na osnove dvustoronnih protokolov bezopasnyh vychislenij [Confidential Machine Learning Based on Two-Way Secure Computing Protocols] / S. V. Zapechnikov, A. Ju. Shherbakov // Bezopasnost' informacionnyh tehnologij [Information Technology Security]. – 2021. – Vol. 28. № 4. – pp. 39-51. [in Russian]

4. Artemchuk K. I. Matematicheskie osnovy algoritma RSA [Mathematical Foundations of the RSA Algorithm] / K. I. Artemchuk // Nekotorye voprosy analiza, algebrы, geometrii i matematicheskogo obrazovaniya [Some Questions of Analysis, Algebra, Geometry and Mathematical Education], Voronezhskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet. – 2016. №5-2. – pp. 17. [in Russian]

5. Gurinec K. R. Algoritm shifrovaniya RSA [RSA Encryption Algorithm] / K. R. Gurinec // Novye informacionnye tehnologii v nauke. Sbornik statej po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. [New Information Technologies in Science. Collection of Articles on the Results of the International Scientific and Practical Conference.]. – 2017. – pp. 32-35. [in Russian]

6. Volokitina T.S. Nadezhnost' realizacij algoritma RSA [Reliability of RSA Algorithm Implementations] [Electronic resource] / T.S. Volokitina // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii [Modern Scientific Research and Innovation] . – 2021. – №4 (120). – URL: <https://web.snauka.ru/issues/> (accessed: 12.03.2022) [in Russian]

7. Trofimets, E. N. On the identification of bearings of active interference sources / E. N. Trofimets, E. V. Mazakov, V. Ya. Trofimets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE), Journal of Physics: Conf. Ser. 1047, 12146. – 2021.

8. Mahovikov A. B. K voprosu razrabotki protokola zashhity informacii v korporativnyh sistemah IP-Telefonii [On the Issue of Developing an Information Protection Protocol in Corporate IP Telephony Systems] / A. B. Mahovikov, K. V. Matrokhina, E. N. Trofimec // Nauchno-analiticheskij zhurnal vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii [Scientific and Analytical Journal Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. – 2020. – №2. – pp. 52-59. [in Russian]

9. Rodin A. K. Sovershenstvovanie tehnologii programmirovaniya logicheskikh kontrollerov na osnove tehnologii TEXT MINING [Improving the Technology of Programming Logic Controllers Based on Text Mining Technology] / A. K. Rodin, D. Makarova, E. N. Trofimec // Nauchno-analiticheskij zhurnal vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii [Scientific and Analytical Journal Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. – 2019. – № 3. – pp. 55-62. [in Russian]

10. Trofimec E. N. Analiz sushhestvujushhih formal'nyh podhodov k opredeleniju ponjatija «Slozhnaja zadacha» [Analysis of Existing Formal Approaches to the Definition of the Concept of “Complex Task”] / E. N. Trofimec, V. Ja. Trofimec // Nauchno-prakticheskij zhurnal «Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki». Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki. [Scientific and Practical Journal “Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice”. Series: Natural and Technical Sciences.]. – 2021. – №11. – pp. 113-116. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.018>**АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА
ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА**

Научная статья

Чусовитин Н.А.^{1,*}, Чусовитин Г.Н.²¹ ORCID: 0000-0002-0055-5036;² ORCID: 0000-0003-0367-584X;^{1,2} Новосибирский Государственный Технический Университет, Новосибирск, Россия

* Корреспондирующий автор (choos328[at]mail.ru)

Аннотация

Предлагаемое устройство относится к пространственным винто-рычажным механизмам и может быть использовано в пищевой, медицинской, химической, строительной отраслях промышленности, а также в сельском хозяйстве, как устройство, необходимое для приготовления однородных сред, позволяющее интенсифицировать массо- и теплообменные процессы, выравнивать концентрацию и температуру во всем объеме перемешиваемых веществ путем увеличения поверхности контакта фаз, обеспечить равномерное распределение энергии в объеме аппарата.

В сельском хозяйстве процесс перемешивания используют при приготовлении различных жидких удобрений, повышающих плодородие посевных площадей, многокомпонентных ядохимикатов для протравливания семян перед посевом; в химико-фармацевтической и медицинской промышленности - при приготовлении лекарственных веществ; в пищевой промышленности, например, при приготовлении сырных масс (V. Guileta, N. Chusovitin. Dispositis de mélange: diplôme d'une médaille d'or. Concours Lépine le salon Europeen de l'invention de Strasbourg. – Strasbourg, 2011), в кондитерском производстве – в целях замещения монотонных ручных операций; в машиностроении – при изготовлении шлифовальных кругов; в строительной индустрии – при производстве тонкокерамических изделий.

Несмотря на то, что большинство конструкций используемых механических перемешивающих устройств создавалось на основе практического опыта без достаточного обоснования, они являются в мировой практике доминирующим типом. Данный факт объясняется универсальностью таких аппаратов, надежностью их конструкций, высоким КПД по сравнению с перемешивающими устройствами других типов.

Ключевые слова: пространственный винто-рычажный механизм, критерии оптимальности движения рабочего органа.

**AN ANALYSIS OF THE OPTIMALITY CRITERIA FOR THE MOVEMENT OF THE WORKING BODY
OF A MIXING MECHANISM**

Research article

Chusovitin N. A.^{1,*}, Chusovitin G.N.²¹ ORCID: 0000-0002-0055-5036;² ORCID: 0000-0003-0367-584X;^{1,2} Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

* Corresponding author (choos328[at]mail.ru)

Abstract

The device proposed in this article relates to spatial lever-screw mechanisms and can be used in the food, medical, chemical, construction industries, as well as in agriculture, as a device necessary for the preparation of homogeneous media, allowing for intensifying mass and heat exchange processes, equalize the concentration and temperature in the entire volume of mixed substances by increasing the contact surface phases, to ensure an even distribution of energy in the volume of the apparatus.

In agriculture, the mixing process is used in the preparation of various liquid fertilizers that increase the fertility of cultivated areas, multicomponent pesticides for etching seeds before sowing; in the chemical, pharmaceutical and medical industries such as the preparation of medicinal substances; in the food industry – in the preparation of cheese curds (V. Guileta, N. Chusovitin. Dispositis de mélange: diplôme d'une médaille d'or. Concours Lépine le salon Europeen de l'invention de Strasbourg. – Strasbourg, 2011), in confectionery production – in order to replace monotonous manual operations; in mechanical engineering – in the manufacture of grinding wheels; in the construction industry – in the production of fine ceramic products.

Despite the fact that most of the designs of the mechanical mixing devices used were created on the basis of practical experience without sufficient justification, they dominate in the world practice. This fact is explained by the versatility of such devices, the reliability of their designs, and high efficiency compared to mixing devices of other types.

Keywords: spatial lever-screw mechanism, criteria for optimal movement of the working organ.

Введение

Анализ существующих механических перемешивающих устройств показал, что уменьшение застойных зон за счет увеличения размеров рабочего органа, скорости его вращения и секционирования объемов перемешивания нельзя признать рациональным [1]. В связи с чем наилучшим решением представляется адресное перемещение рабочего органа в проблемную зону с непрерывным воздействием на перемешиваемый материал. При этом варьирование скорости вращения рабочего органа создает дополнительную турбулентность в смешиваемых материалах, и как следствие, позволяет увеличить их однородность, сократить время технологического процесса и энергозатраты.

Указанным качествам в полной мере удовлетворяет пространственный механизм (патент РФ 2478473 В28С5/16 рис. 1), образованный минимальными числами низших кинематических пар {O₂, А-С, В, O₁} и простыми звеньями {O₂А,

BC, O_1B , O_1O_2 }, имеющими длины l_1 , l_2 , $l_3 \sin \alpha$ и l_0 , соответственно, где α – настроечный угол, определяющий взаимное положение звеньев 2 и 3.

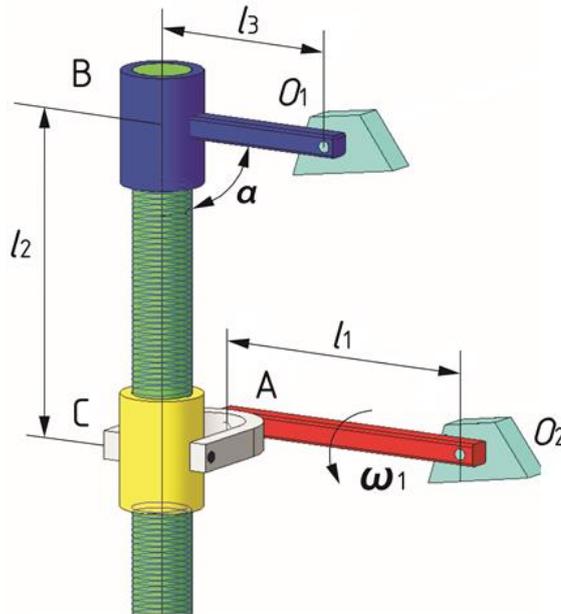


Рис. 1 – Схема механизма

Перемешивание материалов реализуется вращением рабочего органа, соединенного с консолью звена 2, с угловыми скоростями φ'_{22} и φ'_2 вокруг оси BC и стойки O_1 , соответственно. Совмещение движений ведущего звена механизма, при минимальном количестве кинематических пар и звеньев, является резервом для сокращения времени цикла и повышения производительности механизма.

Если размер коромысла l_3 отличен от нуля, траектория движения вершины L , представленная дугой $L_{\Pi}L_{\Pi}$ окружности радиусом ,

$$R_1 = \sqrt{l_2^2 + l_3^2}$$

не симметрична оси OY, где l_2 – минимально возможный размер винта, обеспечивающий существование механизма (рис. 2). Следовательно, проекции вершины винта в крайних положениях на данную ось будут различны. А значит, взаимное расположение механизма и реактора с горизонтальным или эллиптическим дном, следует признать нерациональным [1], [2], [3], в связи с тем, что погружение рабочего органа, связанного с консольной частью винта, в среду перемешивания в крайних положениях механизма различается, что приведёт к образованию застойных зон.

С целью подбора рациональных размеров реактора (емкости для перемешивания), определён угол коррекции γ , обеспечивающий приведение линии симметрии сектора с углом θ_2 качания винта к вертикальной плоскости, что позволяет уменьшить динамические нагрузки на механизм и энергозатраты, а также распределить энергию рабочего органа симметрично оси реактора.

Угол коррекции γ равен углу между перпендикуляром к хорде, построенной на дуге перемещения вершины L винта и стойкой O_1O_2 и может быть реализован поворотом механизма относительно опоры O_1 по направлению движения часовой стрелки (рис. 2)

$$\gamma = \frac{\beta_2 - \beta_1}{2} - \lambda$$

где β_1 и β_2 – углы между кривошипом в его крайних положениях и горизонтальной осью и их сумма есть не что иное как угол перекрытия θ_2 , R – перемещение вершины L кулисы,

$$\lambda = \arcsin\left(\frac{l_3}{l_0 + l_1}\right)$$

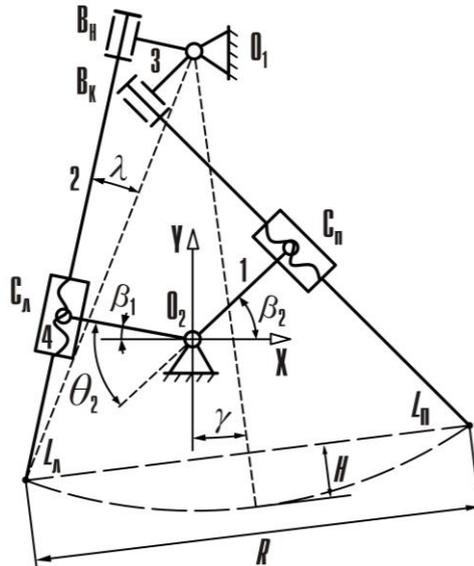


Рис. 2 – Крайние положения механизма с выделением вертикального H и горизонтального R перемещений вершины L

Для упрощения решения и возможного обобщения результатов задачи метрического синтеза, заключающейся в определении значений геометрических параметров механизма, введена относительная система координат kOm , где

$$k = \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2 \quad m = \left(\frac{l_3}{l_0}\right)^2$$

С учетом введенных обозначений, функция угла коррекции положения механизма примет вид

$$\gamma = \frac{\arcsin \sqrt{k} + \sqrt{m}}{2} - \arcsin \left(\frac{\sqrt{m}}{1 + \sqrt{k}} \right)$$

Область значений параметров k, m , при которых корни функции $\gamma=f(k,m)$ вещественны, определяется исключительно свойствами одного из её членов, а именно,

$\arcsin \sqrt{k} + \sqrt{m}$, где $\sqrt{k} + \sqrt{m} \leq 1$ и, следовательно, k и $m \in (0,25;0,25)$ [4].

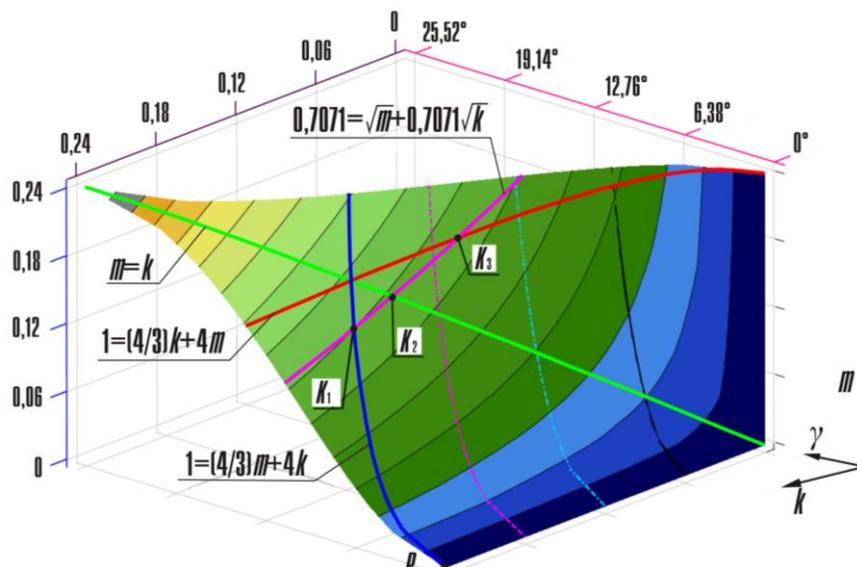


Рис. 3 – Поверхность функции угла коррекции $\gamma = f(k,m)$ механизма

Отметим, что угол коррекции механизма достигает значения $\gamma_{max} \approx 12^\circ$ при максимальном рекомендованном значении угла перекрытия $\theta_2 = 60^\circ$ и реализуется в механизмах, синтезированных по координатам точки $K_1(0,1988; 0,1536)$, принадлежащей области E' , когда $l_1 > l_3$, а также по координатам характерных точек $K_2(0,1713; 0,1713)$ области $E1'$ и $K_3(0,1266; 0,2080)$ области $\Gamma1'$ (рис.3).

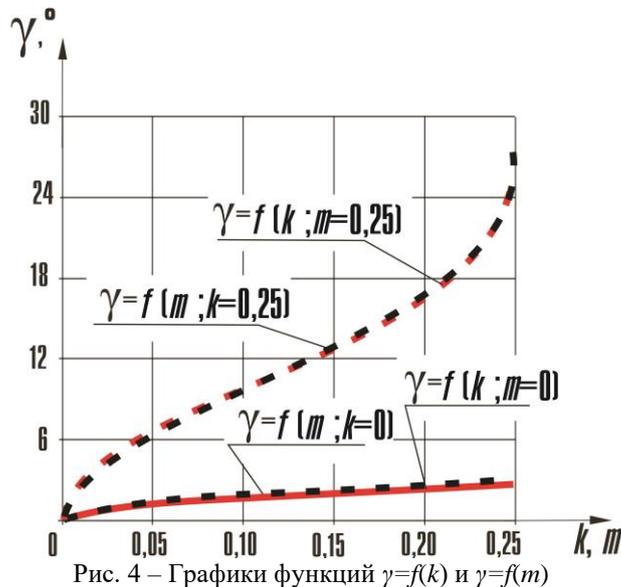


Рис. 4 – Графики функций $\gamma=f(k)$ и $\gamma=f(m)$

Для разграничения степени влияния величины кривошипа и коромысла проведено поочередное исследование функции угла коррекции в зависимости от одного параметра: от параметра k , или m , при фиксированном $m=0$ и $0,25$, или при $k=0$ и $0,25$, соответственно. В результате установлено равнозначное влияние на значение функции угла коррекции, параметра k или m при указанных условиях (рис. 4).

В скорректированном положении механизма максимальные перемещения рабочего органа R (рис. 5)

$$R_{R_1, \theta_2} = 2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_2}{2}$$

равные стягивающей хорде центрального сектора (размах) на опорном угле θ_2 реализуются, если длины звеньев удовлетворяют координатам K_2 , когда $k=m$ [5], [6].

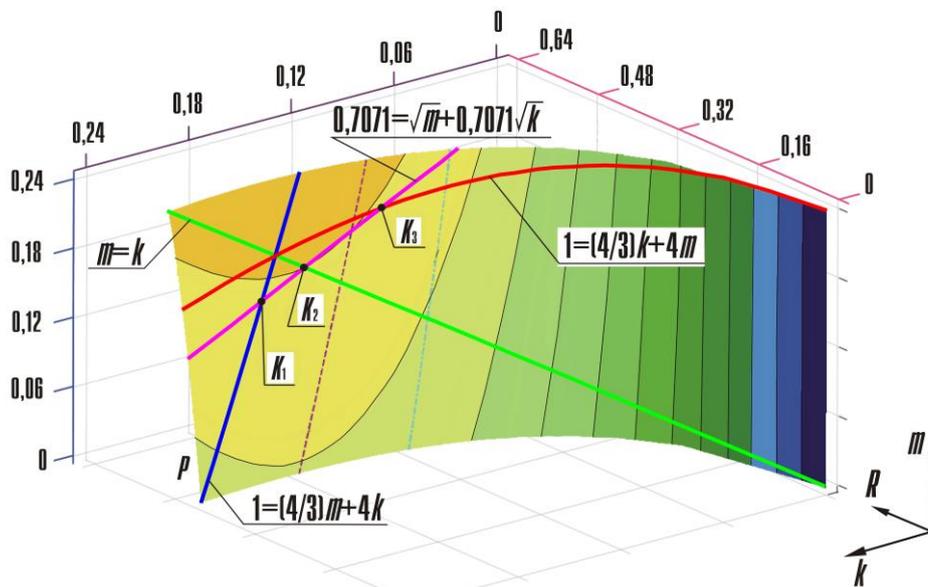


Рис. 5 – Поверхность функции перемещений $R = f(R_1, \theta_2)$, вершины винта L

Для оценки производительности механизма введены критерии оптимальности движения рабочего органа h и H , равные отношению значений относительной угловой скорости ϕ'_{22} и переносной ϕ'_2 к соответствующим путям S рабочего органа на прямых и обратных ходах звена 2 [7-9]. Путь рабочего органа при реализации переносного движения, отсчитываемый от крайнего левого до крайнего правого положения винта 2, проходит по дуге, величина которой определяется как:

$$S_{II} = \theta_2 \cdot \sqrt{l_3^2 + l_2'^2 - 2l_3l_2' \cos \alpha}$$

где l_2' – габаритный размер звена 2, θ_2 – угол перекрытия равный углу качания звена 2 относительно стойки O_1 (согласно рекомендации $0^\circ < \theta_2 \leq 60^\circ$).

В относительном движении, путь кромки рабочего органа равен:

$$S_O = 60R_0 \cdot \phi'_{22} \cdot \frac{S_{II}}{V_2}$$

где V_2 – скорость консоли звена 2 относительно O_1 , определена методом Зиновьева М.Н., R_0 – радиус рабочего органа (винта).

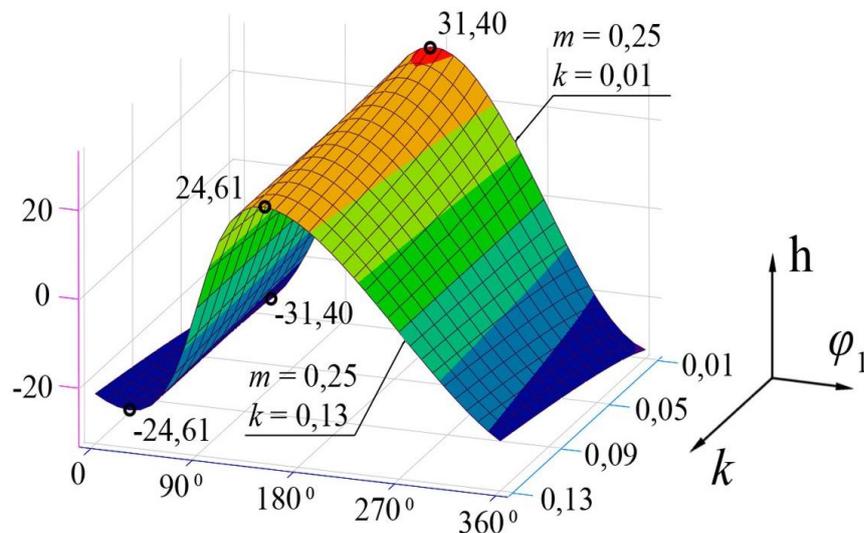


Рис. 6 – Поверхность критерия оптимальности $h = f(k, m, \varphi_1)$

В пространстве относительных параметров k и m и угловой координаты кривошипа φ_1 при $\alpha=90^\circ$ установлены значения $k=0,01$ и $m=0,25$, при которых критерий $h=f(k, m, \varphi_1)$ (рис. 6) принимает максимальные значения.

Отметим, что при выбранных значениях k и m углы перекрытия θ_2 и давления ν принадлежат рекомендованным интервалам [4], тем самым обеспечивается благоприятное снижение динамических нагрузок на палец кривошипа А, повышается качество передачи сил в пространственной винтовой кинематической паре С (рис. 1, 2).

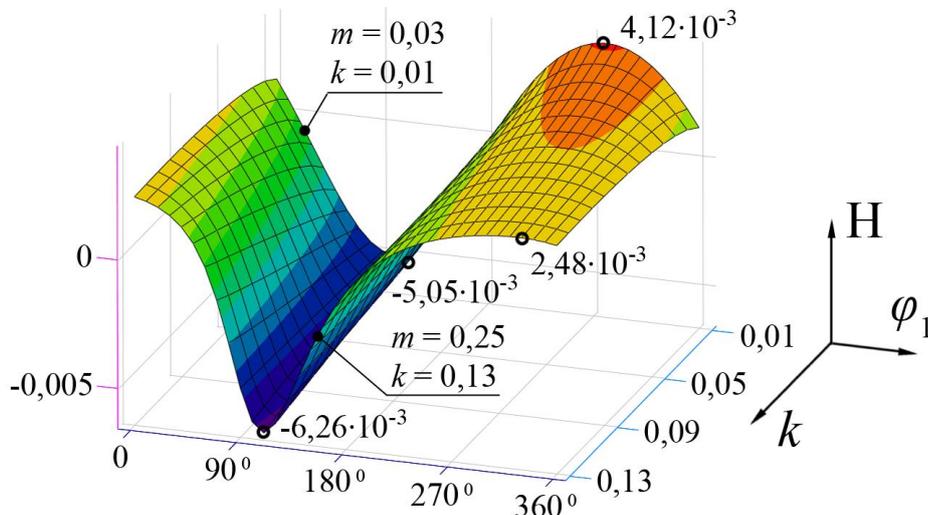


Рис. 7 – Поверхность критерия оптимальности $H = f(k, m, \varphi_1)$

Установлено, что максимальные значения второго критерия $H = f(k, m, \varphi_1)$ для переносного движения звена 2, равно $H=(4,12 \cdot 10^{-3}; -5,05 \cdot 10^{-3})$ (рис. 7), реализуется в механизмах с углами $\theta_2 = \nu \leq 45^\circ$ [4] и длинами, удовлетворяющими относительным параметрам $k=0,01$ и $m=0,03$.

Таким образом, с целью реализации у критериев оптимальности как в переносном, так и относительном движениях максимальных значений, в механизме следует предусмотреть устройство, позволяющее автоматически, в течении рабочего цикла, дискретно изменять значение настроечного угла α , что в свою очередь, позволит провести переход размера O_1B с $m=0,03$ на $m=0,25$ (рис. 8)

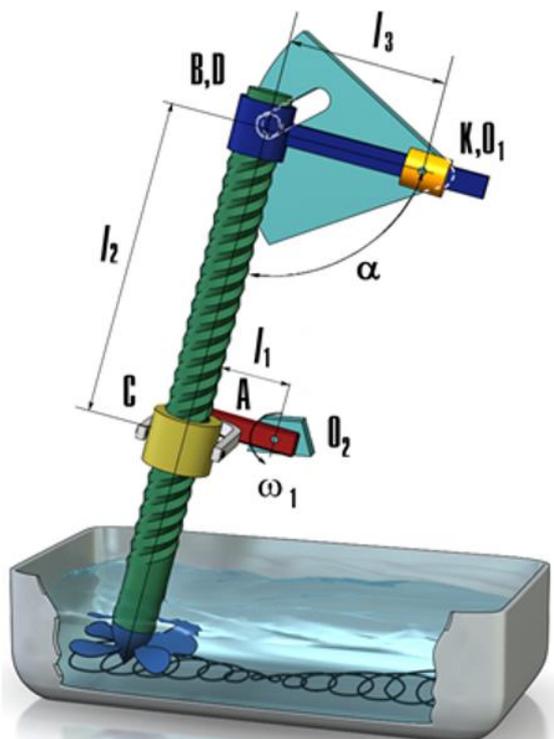
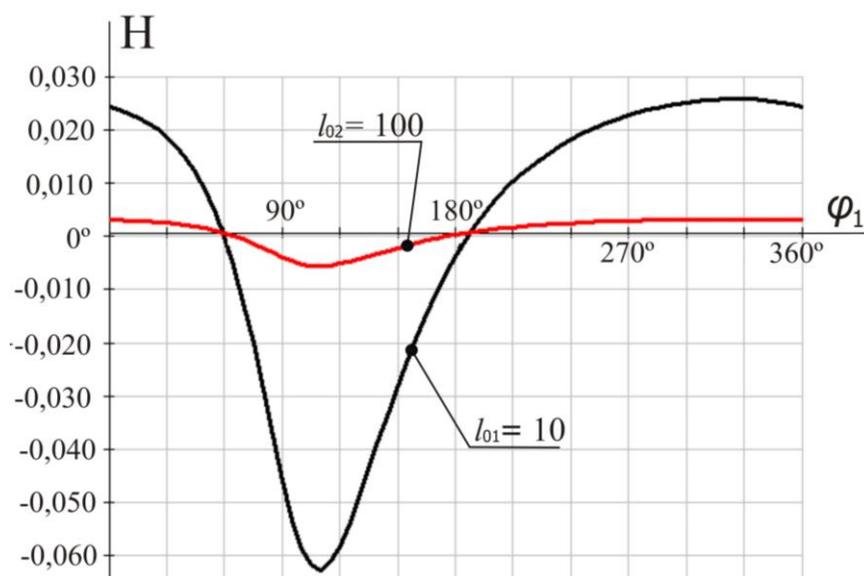


Рис. 8 – Перемешивающее устройство

В работе установлено влияние расстояния между опорами стойки l_0 на параметры $h = \frac{\phi'_{22}}{S_O}$ и $H = \frac{\phi'_2}{S_{II}}$ при отобранных значениях k и m . Отметим, что увеличение значения l_0 не оказывает существенного влияния на критерий h оптимальности движения рабочего органа.

Увеличение размеров звеньев механизма при фиксированных параметрах k и m , обусловленное соответствующим изменением размера l_0 , вне зависимости от соотношений углов перекрытия и давления ($\theta_2 = \nu$, $\theta_2 > \nu$ и $\theta_2 < \nu$), приводит к уменьшению амплитуд критерия H оптимальности движения рабочего органа вокруг O_1 (рис. 9).

Рис. 9 – Графики параметра движения $H = f(k, m, \varphi_1)$

Таким образом предложена методика определения рациональных геометрических параметров механизма [8], [10] для достижения наилучших эксплуатационных характеристик механизма при прочих равных условиях.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии / Ю. И. Дытнерский. – М.: Химия, 2002. – Т. 1 – 2. – 400 с.

2. Иванец В. Н. Аппараты с перемешивающими устройствами: Учеб. пособие / В. Н. Иванец, В. Н. Зайцев. – Кемерово: Кемеров. технол. Ин-т пищевой пром-сти. 1993. – 135 с.
3. Gileta V. P. Parametric analysis of device for the mixing with the equal angles overlap and pressure / V.P. Gileta, N.. Choosovitin // IFOST – 2008. The 3rd international strategic technologies. Novosibirsk, Russia: Proc. – NGTU, 2008. – P. 414 – 416.
4. Гилета В. П. Параметрический синтез пространственного дезаксиального перемешивающего устройства / В.П. Гилета, Н.А. Чусовитин // Матер. IV Международной конференции «Проблемы механики современных машин». – Улан-Удэ: Изд. ВСГТУ, 2009. – Т. 2. – С. 22-28.
5. Гилета В. П. К вопросу кинематического исследования устройства для перемешивания, с равными углами перекрытия θ_2 и давления v / В. П. Гилета, Н. А. Чусовитин // Межвуз. сб.// под ред. Н. В. Пустового. – Новосибирск. Изд. НГТУ, 2008г. – С. 128 –134.
6. Зурабишвили Л. А. Анализ и синтез четырех- и пятизвенных пространственных механизмов / Л. А. Зурабишвили. – Тбилиси: 1982. – 73 с.
7. Гилета В. П. Синтез пространственного кулисного дезаксиального механизма по углу перекрытия θ_2 / В. П. Гилета, А. И. Смелягин, Н. А. Чусовитин // Сборник докладов Междунар. конф. по теории мех-ов и механике машин. – Краснодар: Кубан. гос. технол. ун-т, 2006. – С. 50 –51.
8. Карелин В. С. Проектирование рычажных и зубчато-рычажных механизмов. Справочник / В.С. Карелин. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
9. Сумский С. Н. Расчет кинематических и динамических характеристик плоских рычажных механизмов: Справочник / С. Н. Сумский. – М.: Машиностроение, 1980. – 312 с.
10. Канунников И. А. Теория механизмов и машин / И.А. Канунников. – Красноярск: 2007. – 226 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dytnerky Yu. I. Processy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Processes and apparatuses of chemical technology] / Yu.I. Dytnerky. – М.: Khimiya, 2002. – Vol. 1-2. – 400 p. [in Russian]
2. Ivanets V. N. Apparaty s peremeshivajushhimi ustrojstvami: Ucheb. posobie [Apparatuses with mixing devices: Textbook] / V. N. Ivanets, V. N. Zaitsev. – Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry. 1993. – 135 p. [in Russian]
3. Gileta V. P. Parametric analysis of device for the mixing with the equal angles overlap and pressure / V.P. Gileta, N.. Choosovitin // IFOST – 2008. The 3rd international strategic technologies. Novosibirsk, Russia: Proc. – NGTU, 2008. – p. 414 – 416 [in Russian]
4. Gileta V. P. Parametricheskij sintez prostranstvennogo dezaksial'nogo peremeshivajushhego ustrojstva [Parametric synthesis of a spatial deaxial mixing device] / V.P. Gileta, N.A. Chusovitin // Mater. IV Mezhdunarodnoj konferencii «Problemy mekhaniki sovremennykh mashin [Proceedings of the IV International Conference "Problems of mechanics of modern machines"]. - Ulan-Ude: Publishing House of VSSTU, 2009. – Vol. 2. – pp. 22-28 [in Russian]
5. Gileta V. P. K voprosu kinematičeskogo issledovanija ustrojstva dlja peremeshivanija, s ravnymi uglami perekrytija θ_2 i davlenija v [On the issue of kinematic investigation of the mixing device, with equal overlap angles θ_2 and pressure v] / V. P. Gileta, N. A. Chusovitin // Interacademic collection of studies // edited by N. V. Empty. – Novosibirsk. NSTU Publishing House, 2008 – pp. 128 -134 [in Russian]
6. Zurabishvili L. A. Analiz i sintez chetyrekh- i pjatizvennykh prostranstvennykh mekhanizmov [Analysis and synthesis of four- and five-link spatial mechanisms] / L. A. Zurabishvili. – Tbilisi: 1982. – 73 p. [in Russian]
7. Gileta V. P. Sintez prostranstvennogo kulisnogo dezaksial'nogo mekhanizma po uglu perekrytija θ_2 [Synthesis of a spatial rocker deaxial mechanism by the overlap angle θ_2] / V. P. Gileta, A. I. Smelyagin, N. A. Chusovitin // Sbornik dokladov Mezhdunar. konf. po teorii mek-ov i mekhanike mashin [Collection of reports of the International Conference on the theory of mechanisms and mechanics of machines]. – Krasnodar: Kuban. state. technol. un-t, 2006. – pp. 50-51 [in Russian]
8. Karelin V. S. Proektirovanie ryčazhnykh i zubchato-ryčazhnykh mekhanizmov. Spravochnik [Design of lever and gear-lever mechanisms. A Handbook] / V.S. Karelin. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 184 p. [in Russian]
9. Sumy S. N. Raschet kinematičeskikh i dinamicheskikh kharakteristik ploskikh ryčazhnykh mekhanizmov: Spravochnik [Calculation of kinematic and dynamic characteristics of flat lever mechanisms: A handbook] / S. N. Sumsky. – М.: Mashinostroenie, 1980. – 312 p. [in Russian]
10. Kanunnikov I. A. Teorija mekhanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines] / I.A. Kanunnikov. – Krasnoyarsk: 2007. – 226 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.019>

РАЗЛИЧИЕ ТИПОВ ЛЕСА ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО СОВОКУПНОСТИ ТАКСАЦИОННЫХ И ОРОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В УСЛОВИЯХ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

Научная статья

Андропова А.А.^{1,*}, Вайс А.А.², Калачев В.А.³, Ануев Е.А.⁴, Попова В.В.⁵

² ORCID: 0000-0003-4965-3670;

¹⁻⁵ Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

* Корреспондирующий автор (economics25192715[at]gmail.com)

Аннотация

Типологическая структура является классификационной основой лесорастительных условий. Для изучения типологической структуры использовались 542 участка пихтовых насаждений Республики Хакасия. На исследуемой территории описаны следующие типы леса – пихтач борцовый, пихтач гераневый, пихтач зеленомошниковый, пихтач кисличный, пихтач крупнотравно-папоротниковый, пихтач осочково-сфагновый, пихтач среднегорный и пихтач хвощево-осоковый. Для большинства типов леса пихтовых насаждений выявлено несущественное различие по таксационным и орографическим показателям. Однако между пихтачами борцовой, среднегорной, зеленомошной, гераневой и кисличной групп выявлено значительное различие, что обусловлено условиями их местопроизрастания.

Ключевые слова: Пихтовое насаждение, тип леса, статистика, признак.

ON THE DIFFERENCE IN THE TYPES OF FORESTS OF FIR PLANTATIONS ACCORDING TO THE TOTALITY OF SURVEY AND OROGRAPHIC FEATURES IN THE ALTAI-SAYAN REGION

Research article

Andronova A.A.^{1,*}, Vais A.A.², Kalachev V.A.³, Anuev E.A.⁴, Popova V.V.⁵

² ORCID: 0000-0003-4965-3670;

¹⁻⁵ Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva, Krasnoyarsk, Russia

* Corresponding author (economics25192715[at]gmail.com)

Abstract

The typological structure is the classification basis of forest conditions. To study the typological structure, the research uses 542 plots of fir plantations of the Republic of Khakassia. The research describes the following types of forest in the area under study: Aconitum fir forest (Pikhtach bortsovy), Geranium fir forest (Pikhtach geraney), green-moss fir forest (Pikhtach zelenomoshnikovy), Oxyria fir forest (Pikhtach kislichny), Fern fir forest (Pikhtach paportnikovy), Carex-Sphagnum fir forest (Pikhtach osochkovo-sfagnovy), medium-mountain fir and horsetail-carex fir forest (Pikhtach srednegorny and Pikhtach khvoshchyovo-osokovy). The authors determined insignificant differences in survey and orographic indicators for most types of fir forests. However, a significant difference was identified between the firs of the Aconitum, medium-mountain, green-moss, geranium and Oxyria groups, which is due to the conditions in their place of growth.

Keywords: Fir plantings, forest type, statistics, feature.

Введение

Типологическая структура является классификационной основой лесорастительных условий и продуктивности насаждений [1]. Разработанная В.К. Хлостовым, А.Л. Мусиевским методика позволяет с использованием лесотипологического подхода и множественного статистического моделирования разработать новую систему нормативов [2]. В.Н. Седых предлагает использовать карты коренных типов леса для оценки ущерба, нанесенных природе при освоении невозобновляемых ресурсов [3]. Б.С. Петропавловский использовал метод многомерного анализа для составления экологических паспортов типов леса. Автор предлагает применять паспорта как основу лесных кадастров [4].

В последнее время для изучения типов леса используют картографические методы [5], [6], [7].

Типы леса используются для описания растительности, как крупных регионов, так и локальных объектов. А.Д. Волков [8] в монографии описал историю формирования растительного покрова, изложил характеристику типов леса Карелии по различным классификационным единицам. Б.Е. Чижов с соавторами [9] проанализировали зонально-типологические особенности кедровых лесов Ханты-Мансийского автономного округа. А.Е. Колесниченко описала основные этапы истории развития лесной типологии в России с использованием метода ландшафтного профилирования [10]. Типы леса играют важную роль в смене пород на старопашотных землях [11]. К.С. Бугаева изучила типологическую структуру Погорельского бора, установила особенности распределения типов леса по элементам рельефа [12].

Методы и принципы исследования

Для изучения типологической структуры использовались 542 участка пихтовых насаждений из таксационного описания Балыксинского лесничества Республики Хакасия. На исследуемой территории описаны следующие типы леса – пихтач борцовый, пихтач гераневый, пихтач зеленомошниковый, пихтач кисличный, пихтач крупнотравно-папоротниковый, пихтач осочково-сфагновый, пихтач среднегорный и пихтач хвощево-осоковый. Из всех пихтовых выделов 49,6% составил зеленомошный тип леса, 15,0% среднегорный, 17,7% борцовый, 13,5% гераневый, 3,0% кисличный, 0,6% крупнотравно-папоротниковый, 0,6% хвощево-осоковый и 0,2% осочково-сфагновый. Для каждого из вариантов типа леса анализировались следующие показатели: состав, тип условий произрастания, тип леса, полнота,

возраст, доля пихты в составе, почва, покров, положение. Исходя из числового ранжирования, крутизне и экспозиции склона присвоены значения натурального ряда. Для последующего анализа данных каждой экспозиции склона присвоен свой ранг при расположении участков от холодных к теплым. Распределение экспозиций представлено в таблице 1. Все данные заносились в таблицу 2.

Таблица 1 – Экспозиция склонов пихтовых насаждений

Экспозиция склона исходная	Числовое значение (ранг)
Северная	1
Северо-западная	3
Западная	5
Северо-восточная	2
Юго-западная	7
Восточная	4
Юго-восточная	6
Южная	8

Таблица 2 – Характеристика древостоя пихтовых насаждений

№ варианта	Состав	Тип условий произрастания	Тип леса	Полнота	Возраст	Почва	Покров	Положение	Крутизна на склоне	Экспозиция склона	Доля пихты в составе
1	5П1Е2 К2Б	С ₂	Пбр	0,6	150	Суглинистая, сырая	О,Т,П,Б, Х	Пойма	0	0	50
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
542	10П+К	С ₃	Пхв.ос с	0,2	100	Суглинистая, влажная	О,ВТ	В склон, 10 ⁰	10	4	100

Примечание: Пбр - пихтач борцовый, Пхв.ос - пихтач хвощёво-осоковый, О - осока лесная, Т - таволга, П - папоротник, Б - борец, Х - хвощ, ВТ - высокотравье

Основные результаты

Для проведения статистического анализа типов леса между собой вычислены средние показатели по каждому типу, а именно полнота, возраст, крутизна склона, доля пихты в составе и экспозиция склона. Данные представлены в таблице 3 с учетом стандартной ошибки.

Таблица 3 – Средние показатели различных типов леса

Тип леса	Полнота	Возраст	Крутизна склона	Доля пихты в составе, (%)	Экспозиция склона
Пихтач зеленомошный	0,6±0,01	108±1,8	22±0,5	79±1,4	3±0,1
Пихтач среднегорный	0,6±0,02	91±2,8	20±0,8	60±2,4	3±0,2
Пихтач борцовый	0,5±0,02	105±4,2	13±0,7	79±2,1	3±0,2
Пихтач гераневый	0,6±0,02	79±5,2	16±0,9	76±2,1	4±0,3
Пихтач кисличный	0,6±0,02	131±3,5	16±1,4	87±4,0	6±0,5
Пихтач крупнотравно-папоротниковый	0,7±0,1	100±25,2	14±3,5	70±15,3	3±0,3
Пихтач хвощёво-осоковый	0,4±0,1	83±16,7	13±3,7	67±16,7	6±1,2

Примечание: статистические показатели получены при уровне доверительной вероятности 95,4%

Для расчёта средних показателей использовалась программа Excel, в которой применялась процедура «Анализ данных».

По полноте пихтач крупнотравно-папоротниковый превосходит остальные типы леса (0,7) (зеленомошниковый, среднегорный, гераневый, кисличный на незначительную величину - 0,1, а борцовый и хвощёво-осоковый на 0,2-0,3). Самый низкий показатель по полноте наблюдался у хвощёво-осокового типа леса (0,4).

По возрасту гераневый и хвощёво-осоковый типы леса соответствуют IV классу возраста, зеленомошный, крупнотравно-папоротниковый и борцовый V классу возраста и только кисличный тип леса относится к VII классу возраста. Следовательно, в гераневом и хвощёво-осоковом типах леса древостои находятся в стадии активного роста, а в других типах дерева являются возрастными, а насаждения спелыми.

По крутизне склона зеленомошный и среднегорный типы леса можно отнести к горным лесам, так как крутизна равна или больше 20°.

Доля пихты в составе во всех типах леса равно или более 60%. Минимальный процент наблюдался в среднегорных пихтачах (60%), максимальный в кисличном типе леса (87%).

Экспозиция в пихтаче среднегорном, борцовом, зеленомошном и крупнотравно-папоротниковом имела 2 ранг (преобладание северо-западной части склона), в гераневом 4 ранг (восточная часть склона), а в кисличном и хвощёво-осоковом 6 ранг (юго-восточная часть склона).

Для изучения соответствия закону нормального распределения проводился анализ асимметрии и эксцесса по каждому типу леса. По величине асимметрии и эксцесса можно судить о форме распределения и общих ее тенденциях. В случае нормального распределения их значения равны нулю. По полноте распределение характеризуется преимущественно левосторонним средним смещением и эксцессивным распределением. Так как возраст сам по себе показатель вариабельный, поэтому для этого показателя смещение для большинства типов леса будет левостороннее большое и эксцессивное. Что касается доли пихты в составе, смещение наблюдалось левостороннее большое и депрессивное. Это обусловлено различием состава насаждений. По крутизне склона установлено преимущественно правостороннее малое смещение и эксцессивное распределение по всем типам леса. По такому показателю как экспозиция склона смещение правостороннее большое и депрессивное.

Для того чтобы выявить существенные и не существенные различия между типами леса рассчитывался критерий Стьюдента. В данной работе по данному показателю сравнивались следующие типы леса: пихтач борцовый, пихтач гераневый, пихтач зеленомошный, пихтач кисличный, пихтач крупнотравно-папоротниковый, пихтач среднегорный, пихтач хвощёво-осоковый. Все эти типы леса сопоставлялись по таким показателям, как полнота, возраст, доля пихты в составе, крутизна склона и экспозиция склона. Все результаты сгруппированы для лучшей наглядности и представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительный анализ по критерию Стьюдента типов леса пихтовых насаждений

Типы леса	Полнота	Возраст, лет	Доля пихты в составе, %	Крутизна склона	Экспозиция склона
Пбр-Пгр	3,8>2,0	3,9>2,0	1,2<2,0	2,5>2,0	1,5<2,0
Пбр-Пзм	5,4>2,0	0,6<2,0	0,4<2,0	10,4>2,0	1,4<2,0
Пбр-Пкис	3,7>2,0	4,6>2,0	1,7<2,1	1,7<2,1	5,0>2,1
Пбр-Пктп	1,0<4,3	0,2<4,3	0,6<4,3	0,3<4,3	0,1<2,8
Пбр-Пср	2,1>2,0	2,8>2,0	6,0>2,0	6,5>2,0	2,0≥2,0
Пбр-Пхв.ос	2,0<4,3	1,3<4,3	0,8<4,3	0,2<4,3	2,3<4,3
Пгр-Пзм	0,3<2,0	5,2>2,0	1,2<2,0	5,8>2,0	2,9>2,0
Пгр-Пкис	0,1<2,0	8,2>2,0	2,1<2,2	0,1<2,1	3,8>2,1
Пгр-Пктп	0,3<4,3	0,8<4,3	0,4<4,3	0,5<4,3	1,3<2,5
Пгр-Пср	1,7<2,0	2,1>2,0	4,8>2,0	3,3>2,0	3,2>2,0
Пгр-Пхв.ос	3,0<4,3	0,3<4,3	0,6<4,3	0,9<4,3	1,7<4,3
Пзм-Пкис	0,4<2,1	5,8>2,1	2,0<2,1	3,9>2,1	6,0>2,1
Пзм-Пктп	2,5>2,0	0,3<4,3	0,6<4,3	2,1<4,3	1,0<3,2
Пзм-Пср	3,1<4,3	5,0>2,0	6,5>2,0	2,2>2,1	1,0<2,0
Пзм-Пхв.ос	0,2<4,3	1,5<4,3	0,7<4,3	2,4<4,3	2,6<4,3
Пкис-Пктп	0,3<4,3	1,2<4,3	1,1<4,3	0,4<3,2	4,7>2,2
Пкис-Пср	1,6<2,0	8,9>2,0	5,7>2,1	2,4>2,1	6,2>2,1
Пкис-Пхв.ос	2,9<4,3	2,8<4,3	1,2<4,3	0,8<3,2	0,2<3,2
Пктп-Пср	0,6<4,3	0,3<4,3	0,6<4,3	1,5<4,3	1,5<2,8
Пктп-Пхв.ос	2,0<2,8	0,6<3,2	0,2<2,8	0,3<2,8	2,2<4,3
Пср-Пхв.ос	2,5<4,3	0,5<4,3	0,4<4,3	1,9<4,3	2,8<4,3

Примечание: Пбр – борцовый тип леса, Пгр – гераневый тип леса, Пзм – зеленомошный, Пкис – кисличный, Пктп – крупнотравно-папоротниковый, Пср – среднегорный, Пхв.ос – хвощёво-осоковый

Исходя из полученных данных, выявлены следующие математические соотношения между типами леса по таксационным и орографическим показателям. Несущественные различия установлены между пихтачом борцовым и

зеленомошным, пихтачом борцовым и крупнотравно-папоротниковым, пихтачом борцовым и хвощево-осоковым, пихтачом гераневым и кисличным, пихтачом гераневым и крупнотравно-папоротниковым, пихтачом гераневым и хвощево-осоковым, пихтачом зеленомошным и крупнотравно-папоротниковым, пихтачом зеленомошным и хвощево-осоковым, пихтачом кисличным и крупнотравно-папоротниковым, пихтачом кисличным и хвощево-осоковым, пихтачом крупнотравно-папоротниковым и среднегорным, пихтачом крупнотравно-папоротниковым и хвощево-осоковым, пихтачом среднегорным и хвощево-осоковым.

Существенные отличия определены между пихтачом борцовым и гераневым, пихтачом борцовым и кисличным, пихтачом борцовым и среднегорным, пихтачом гераневым и зеленомошным, пихтачом гераневым и среднегорным, пихтачом зеленомошным и кисличным, пихтачом зеленомошным и среднегорным, пихтачом кисличным и среднегорным.

Заключение

По результатам исследований получены следующие выводы:

1. На исследуемой территории описаны следующие типы леса – пихтач борцовый, пихтач гераневый, пихтач зеленомошниковый, пихтач кисличный, пихтач крупнотравно-папоротниковый, пихтач осочково-сфагновый, пихтач среднегорный и пихтач хвощево-осоковый;

2. По полноте пихтач крупнотравно-папоротниковый превосходит остальные типы леса (0,7). Самый низкий показатель по полноте наблюдался у хвощево-осокового типа леса (0,4);

3. В гераневом и хвощево-осоковом типах леса древостои находятся в стадии активного роста, а в других типах деревья являются возрастными, а насаждения спелыми;

4. По крутизне склона зеленомошный и среднегорный типы леса можно отнести к горным пихтовым лесам, так как крутизна равна или больше 20°;

5. Доля пихты в составе во всех типах леса равно или более 60%. Минимальный процент наблюдался в среднегорных пихтачах (60%), максимальный в кисличном типе леса (87%);

6. Экспозиция склона в пихтаче среднегорном, борцовом, зеленомошном и крупнотравно-папоротниковом имела 2 ранг (преобладание северо-западной части склона), в гераневом 4 ранг (восточная часть склона), а в кисличном и хвощево-осоковом 6 ранг (юго-восточная часть склона);

7. Для большинства типов леса пихтовых насаждений выявлено незначительное различие по таксационным и орографическим показателям. Однако между пихтачами борцовой, среднегорной, зеленомошной, гераневой и кисличной групп выявлено значительное различие, что обусловлено условиями их местопроизрастания.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Хлюстов В. К. Единство лесорастительных условий, типов лесных насаждений и продуктивности древостоев / В. К. Хлюстов // Природообустройство. – 2010. – №1. – с. 11-18.

2. Хлюстов В. К. Лесотипологические шкалы семенных дубрав Воронежской области / В. К. Хлюстов, А. Л. Мусиевский // Лесотехнический журнал. – 2014. – т.4. – №1(13). – с. 64-74.

3. Седых В.Н. Коренные типы леса в оценке ущерба, причиненного лесным ресурсам / В.Н. Седых // Гео-Сибирь. – 2011. – т.3. – №2. – с. 150-153.

4. Петропавловский Б. С. Типы леса – основа лесных кадастров / Б. С. Петропавловский // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2016. – т. 142. – с. 156-163.

5. Нешатаев М. В. Комбинированный метод картографирования растительности (на примере Лапландского заповедника) / М. В. Нешатаев, В. Ю. Нешатаев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2012. – №201. – с. 29-40.

6. Фарбер С. К. Картирование типов лесов гор Южной Сибири / С. К. Фарбер, Н. С. Кузьмик, Ш. Максютов // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2016. – №3. – с. 183-187.

7. Петропавловский Б.С. Экологическая обусловленность распространения типов леса Приморского края / Б.С. Петропавловский // Лесоведение. – 2012. – №3. – с. 33-42.

8. Волков А. Д. Типы леса Карелии: монография / А.Д. Волков. – Петрозаводск: ИЛ Карельского НЦ РАН, 2008.

9. Зонально-типологические особенности кедровых лесов Ханты-Мансийского автономного округа / Б.Е. Чижов, Е. Ю. Агафонов, В. А. Козинец и др. // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2009. – №9. – с. 119-127.

10. Колесниченко А. Е. Типы лесов Ставропольской возвышенности (на примере темного леса г. Стрижамент) / А. Е. Колесниченко // Наука. Инновации. Технологии. – 2013. – №4. – с. 108-115.

11. Феклистов П. А. Роль типов леса в смене пород на старопахотных землях Кенозерского национального парка / П. А. Феклистов, Т. В. Тюрикова, М. В. Аверина // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2016. – т.20. – №6. – с. 39-43.

12. Бугаева К. С. Типологическая структура лесов Погорельского бора (Красноярская лесостепь) / К. С. Бугаева // Лесоведение. – 2009. – №6. – с. 46-53.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Khlyustov V. K. Edinstvo lesorastitelnykh usloviy. tipov lesnykh nasazhdeniy i produktivnosti drevostoyev [Unity of forests, types of forest plantations and productivity of forest stands] / V. K. Hlyustov // Prirodoobustroystvo [environmental engineering]. – 2010. – No. 1. – pp. 11-18. [in Russian]

2. Khlyustov V. K. Lesotipologicheskiye shkaly semennykh dubrav Voronezhskoy oblasti [Isotopologues scale seed of the oak Voronezh region] / V. K. Khlyustov, A. L. Maziewski // Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry engineering journal]. – 2014. – Vol. 4. – №1(13). – p. 64-74. [in Russian]
3. Sedykh V.N. Korennyye tipy lesa v otsenke ushcherba. prichinenno go lesnym resursam [Indigenous forest types in the assessment of the damage caused to forest resources] / V. N. Sedykh // Geo-Sibir'. – 2011. – vol. 3. – No. 2. – pp. 150-153. [in Russian]
4. Petropavlovsk B. S. Tipy lesa – osnova lesnykh kadaastrov [Forest types-the basis of forest cadastres] / B. S. Petropavlovsk // Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden]. – 2016. – vol. 142. – pp. 156-163. [in Russian]
5. Neshataev M. V. Kombinirovannyi metod kartografirovaniya rastitelnosti (na primere Laplandskogo zapovednika) [Combined method of vegetation mapping (on the example of the Lapland Reserve)] / M. V. Neshataev, V. Yu. Neshataev // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Izvestiya of the St. Petersburg Forestry Academy]. – 2012. – No. 201. – pp. 29-40. [in Russian]
6. Farber S. K. Kartirovaniye tipov lesov gor Yuzhnoy Sibiri [Mapping the types of forests of the mountains of Southern Siberia] / S. K. Farber, N. S. Kuzmik, Sh. Maksyutov // Izvestiya Natsionalnoy Akademii nauk Kyrgyzskoy Respubliki [Izvestiya of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic]. – 2016. – No. 3. – pp. 183-187. [in Russian]
7. Petropavlovsk B. S. Ekologicheskaya obuslovlennost rasprostraneniya tipov lesa Primorskogo kraya [Ecological conditionality of the distribution of forest types in the Primorsky Territory] / B. S. Petropavlovsk // Lesovedeniye [Forest Science]. – 2012. – No. 3. – pp. 33-42. [in Russian]
8. Volkov A.D. Tipy lesa Karelii: monografiya [Types of Karelian forests: a monograph] / A.D. Volkov. – Petrozavodsk: IL Karelskogo NTs RAN. 2008 [Petrozavodsk: IL Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2008.] [in Russian]
9. Zonalno-tipologicheskiye osobennosti kedrovyykh lesov Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga [Zonal-typological features of cedar forests of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug] / B. E. Chizhov, E. Yu. Agafonov, V. A. Kozinets et al. // Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies. – 2009. – No. 9. – pp. 119-127. [in Russian]
10. Kolesnichenko A. E. Tipy lesov Stavropolskoy vozvysheynosti (na primere temnogo lesa g. Strizhament) [Types of forests of the Stavropol upland (on the example of the dark forest of the city of Strizhament)] / A. E. Kolesnichenko // Nauka. Innovatsii. Tekhnologii [Nauka. Innovations. Technologies]. – 2013. – No. 4. – pp. 108-115. [in Russian]
11. Feklistov P. A. Rol tipov lesa v smene porod na staropakhotnykh zemlyakh Kenozerskogo natsionalnogo parka [The role of forest types in the change of species on the old arable lands of the Kenozersky National Park]. / P. A. Feklistov, T. V. Tyurikova, M. V. Averina // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik [Bulletin of the Moscow State University of Forests-Forest Bulletin]. – 2016. – vol. 20. – No. 6. – pp. 39-43. [in Russian]
12. Bugaeva K. S. Tipologicheskaya struktura lesov Pogorelskogo bora (Krasnoyarskaya lesostep) [Typological structure of forests of the Pogorelsky forest (Krasnoyarsk forest-steppe)]. / K. S. Bugaeva // Lesovedeniye [Forest science]. – 2009. – No. 6. – pp. 46-53. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.020>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ

Научная статья

Камышова Г.Н.^{1,*}, Терехова Н.Н.²

¹ ORCID: 0000-0002-8569-6259;

² ORCID: 0000-0001-7724-6517;

¹ Финансовый университет при правительстве РФ, Москва, Россия;

² Саратовский государственный аграрный университет, Саратов, Россия

* Корреспондирующий автор (gkamichova[at]mail.ru)

Аннотация

В данной работе на основе применения методов геопространственного моделирования проводится анализ состояния водопользования (водопотребления и водоотведения) для устойчивого использования водных ресурсов в трансграничном регионе. Для дальнейшего прогнозирования водных ресурсов предлагается использовать нейросетевое моделирование. Исследование предлагает модель сочетания современных геоинформационных и нейросетевых технологий пространственного распределения удельного водопотребления. Полученные характеристики позволяют оценить современный уровень водопользования на трансграничной территории и являются основой для решения проблемных вопросов межгосударственного водораздела и могут быть использованы для определения приоритетных направлений деятельности, направленной на повышение эффективности водопользования и устойчивого развития трансграничных территорий.

Ключевые слова: устойчивое развитие, геопространственный анализ, нейросетевое моделирование, трансграничные регионы.

MODERN TECHNOLOGIES OF WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TRANSBORDER REGIONS

Research article

Kamyshova G.N.^{1,*}, Terekhova N.N.²

¹ ORCID: 0000-0002-8569-6259;

² ORCID: 0000-0001-7724-6517;

¹ Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia;

² Saratov State Agrarian University, Saratov, Russia

* Corresponding author (gkamichova[at]mail.ru)

Abstract

Based on the application of geospatial modeling methods, the article carries out an analysis of the state of water use (water consumption and sanitation) for the sustainable use of water resources in a transborder region. For further forecasting of water resources, it is proposed to use neural network modeling. The study offers a model for combining modern geoinformation and neural network technologies for spatial distribution of specific water consumption. The obtained characteristics allow for assessing the current level of water use in a transborder territory and are the basis for solving problematic issues of interstate water allocation and can be used to determine priority areas of activity aimed at improving the efficiency of water use and sustainable development of transborder territories.

Keywords: sustainable development, geospatial analysis, neural network modeling, transborder regions.

Введение

Немногим более пяти лет прошло с момента вступления в силу Целей в области устойчивого развития, направленных, в глобальном масштабе, на искоренение бедности, сохранение ресурсов планеты и обеспечение благополучия. Устойчивое развитие – это баланс между удовлетворением текущих потребностей человечества и защитой окружающей среды для удовлетворения потребностей будущих поколений. Растущее население и потребности в ресурсах создают потребность в практических методах. На основе этих программных документов правительства различных стран, межгосударственные и региональные объединения разрабатывают собственные концепции и программы для достижения целей устойчивого развития. Однако для достижения этих целей часто требуется сотрудничество между разными странами, регионами и организациями.

Значительную роль в таком сотрудничестве играют трансграничные территории как специальный тип территорий, особенно с точки зрения использования природных ресурсов. Примером таких трансграничных территорий могут служить государства так называемого Шелкового пути. Российско-Казахстанское трансграничное пространство является одним из региональных примеров международной трансграничной территории.

Обладая значительным потенциалом природных ресурсов в пределах своих границ, как Россия, так и Казахстан имеют территории, где эти ресурсы одновременно расположены в обоих государствах. Одним из таких ресурсов является вода. Именно вода, а точнее ее недостаток становятся одним из ключевых факторов, ограничивающих развитие экономики и социальной сферы.

По статистике, нехватку воды испытывают более сорока процентов населения земли. И ситуация только усугубляется по причине изменения климата, роста населения планеты и ускорения процессов урбанизации. Все это послужило основанием для выделения отдельной цели устойчивого развития - Обеспечение доступности и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех.

Основные результаты

В глобальном контексте на протяжении последних сорока лет ежегодный прирост водопотребления составляет 1%. Это может привести к значительному увеличению уровня водопользования к середине нынешнего тысячелетия. Приведем некоторую статистику [1] по текущей ситуации с уровнем водного стресса, который является одним из ключевых негативных факторов для устойчивого развития во всем мире, осложняя социально-экономическое развитие. В глобальном измерении интегральный показатель уровня водного стресса представлен на рисунке 1.

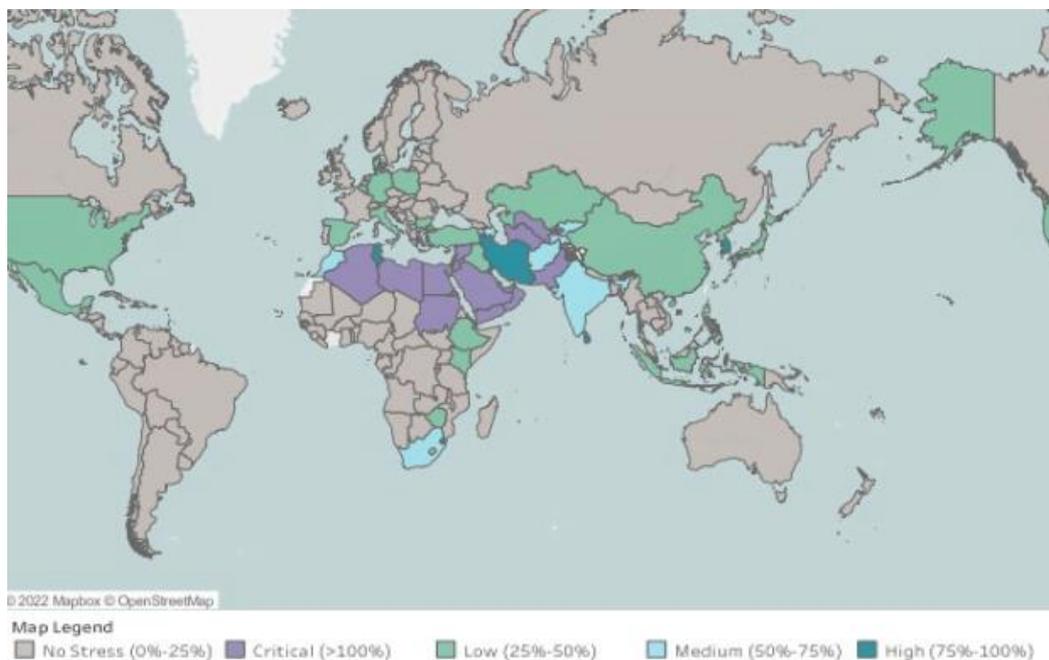


Рис. 1 – Интегральный показатель уровня водного стресса [1]

В мировом масштабе средний показатель водного стресса находится на приемлемом уровне 18,18%. Однако в региональном разрезе мы видим огромный дисбаланс (рисунок 2). Так максимального значения он достигает для региона северная Африка, в то время как для региона Африка к югу от Сахары – 5,9%. Для Северной и Латинской Америки значение различия почти в три раза, составляя 20,16% и 6,04% соответственно. Так же велика разница между регионами Центральной (75,95%), Западной (57,9%) и Восточной Азии (45,62%).

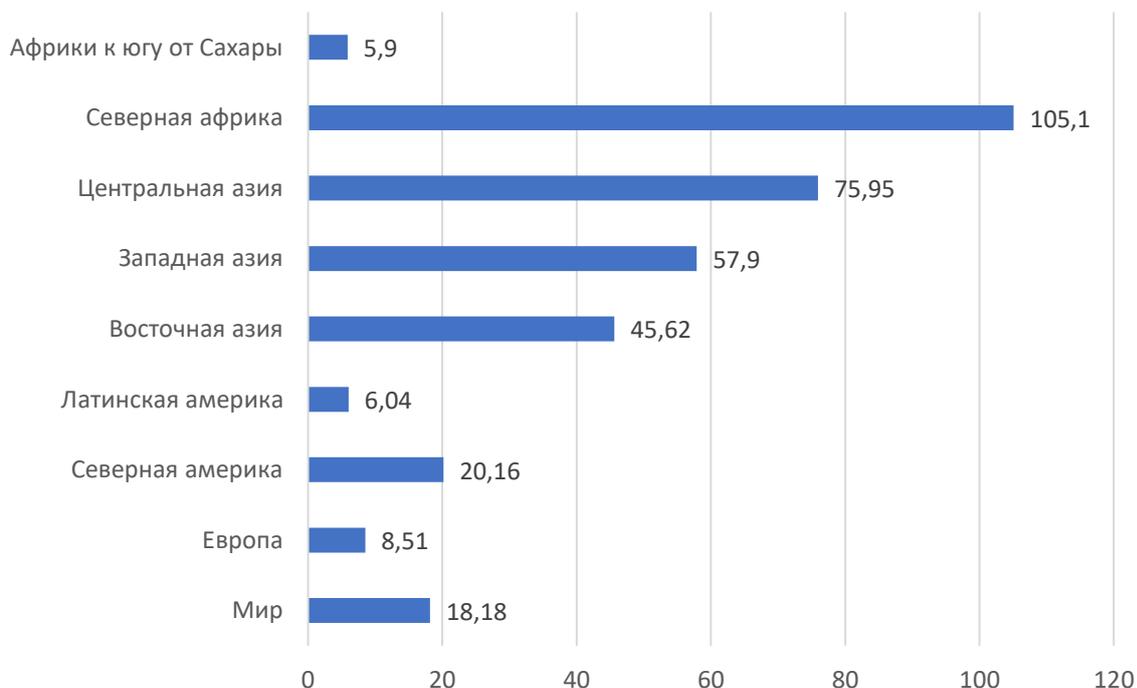


Рис. 2 – Уровень водного стресса в региональном разрезе

В разрезе стран показатель водного стресса так же имеет значительные различия. Так, как видно из динамики, представленной на рисунке 3 в России этот показатель находится на уровне около 4% в то время, как в Казахстане более 30%.



Рис. 3 – Динамика уровня водного стресса России и Казахстана

В связи с потенциальной ограниченностью водных ресурсов и их крайней экологической уязвимостью, проблемы устойчивого управления водными ресурсами государства могут быть решены только при условии решения этих проблем на региональном уровне [2]. Российско-Казахстанское трансграничное пространство имеет огромные масштабы и включает 12 российских и 7 казахстанских субъектов территорий. Кластерный анализ суммарного использования воды в данном трансграничном регионе показывает ее неравномерность и может быть разделен на четыре кластера, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Кластеризация суммарного использования свежей воды трансграничном пространстве

Кластер, млн м ³	Регион РФ	Регион РК
до 250	Омская область Курганская область Республика Алтай	Северо-Казахстанская область Атырауская область Костанайская область
250–500	Саратовская область Алтайский край	Западно-Казахстанская область Актюбинская область
500–750	Астраханская область Волгоградская область Самарская область Челябинская область Новосибирская область	Восточно-Казахстанская область
более 750	Оренбургская область Тюменская область	Павлодарская область

В трансграничных регионах водопользование имеет свои особенности, что оказывает влияние на устойчивое развитие этих территорий. Так, одной из проблем, например, является недостаток естественного паводкового стока по обе стороны границы и формирование основного стока рек на территории России. Изменение климата, несомненно оказывает влияние на эти процессы и требует новых подходов к их исследованию.

В силу сложного характера взаимосвязей между процессами и факторами стандартные методы моделирования и анализа не дают полной информации. Необходим поиск пространственных закономерностей в распределенных гео-данных и взаимосвязях между объектами. Геопрограммное моделирование наряду с методами искусственного интеллекта, такими как нейронные сети в данном случае является лучшим методом анализа и принятия решений [3], [4].

Как показывает приведенный выше анализ, оценки ученых и экспертов на межгосударственном уровне [5], на трансграничный сток приходится от 45% до 65% суммарного стока Республики Казахстан, большинство из которого это российско – казахстанский трансграничный регион. В связи с этим, возникает проблема оценки пространственных закономерностей водопотребления, гидрологического районирования, моделирования оценки уровня изменений естественного стока.

Россия и Казахстан, осознавая значительную роль воды и ресурсов для устойчивого экономического развития, разработали соответствующие государственные программы [6], [7]. Необходимость совместной реализации этих международных программ была вызвана обострением водной обстановки в трансграничном пространстве и, как следствие, многолетними межгосударственными разногласиями по водodelению.

Принятие решений по управлению трансграничными водными ресурсами должно основываться не только на пространственном анализе факторов, определяющих водопотребление и водоотведение, а также на экологическом состоянии водных ресурсов локальных по площади территорий (водосборы рек, муниципальные районы), но и на анализ этих факторов в региональном и региональном масштабе. Для совершенствования механизма управления водными

ресурсами необходимы согласованные сторонами водохозяйственные балансы, отражающие современный гидрологический режим, уровень антропогенных изменений естественного стока и объективные данные о водопользовании.

Целью работы является создание модели управления водными ресурсами на основе геопространственных моделей в сочетании с искусственными нейронными сетями на примере Саратовской области (РФ), которая является пограничной территорией с Западно – Казахстанской областью (РК).

На территории Саратовской области выделяют три основных водных бассейна: бассейн реки Дон, бассейн реки Волги и бассейн Камыш – Самарских озер. Так, реки Большой и Малый Узень являются трансграничными водными объектами и принадлежат к бассейну Камыш – Самарских озер. Площадь водосбора реки Большой Узень составляет 15600 км² (в пределах Российской Федерации - 9660 км²), длина - 650 км, в пределах Российской Федерации - 397 км. Водосборный бассейн реки. Малый Узень - 11600 км² (в пределах РФ - 5980 км²), длина р. Малый Узень - 638 км, в пределах Российской Федерации - 374 км, из них 124 км приходится на границу между Российской Федерацией и Республикой Казахстан. Однако, данные водные объекты не обеспечивают в полной мере водопотребление, а дефицит восполняется за счет подачи воды из Волжского бассейна. Помимо этого, для этого региона характерна проблема неравномерного формирования основного стока рек, так на Саратовскую область приходится 80%, в то время как на Западно – Казахстанскую только 20%. Средний многолетний показатель его составляет 264,8 км³/год, удельный - 69 тыс. м³/год на 1 км² территории. Около половины водных ресурсов этого трансграничного региона используется для орошения, как со стороны России, так и со стороны Казахстана. В этой связи важным аспектом выступает комплексная оценка водных ресурсов Саратовской области, как приграничной территории, по сути, обеспечивающей устойчивое развитие всего трансграничного региона. При этом анализ распределения водных ресурсов по территории Саратовской области позволяет констатировать его крайнюю неравномерность. 49,6% удельных водных ресурсов составляет бассейн Волги, а на бассейны Дона и Камыш-Самарских озер (Б. Узень и М. Узень) - 37,6% и 12,8% соответственно.

Основным инструментом обработки больших объемов пространственных данных в России являются геоинформационные системы, позволяющие не только быстро оперировать большими объемами данных, но и успешно сочетать пространственные и гео-статистические методы их интерпретации и анализа. Исследование основано на данных статистической отчетности по водопользованию на территории Саратовской области [8]. В качестве расчетных берутся усредненные показатели за длительный период [9]. Затем в качестве предлагаемой нами модели положена комбинация нескольких нейронных сетей [10] (многослойная нейронная сеть и вероятностная нейронная сеть) рисунок 4 () для оценки уровня антропогенных изменений естественного стока. Приложения нейромоделирования в задачах агро-менеджмента приведены в [11], [12]. Отдельные вопросы нейромоделирования для снижения рисков орошаемого земледелия представлены в [13].

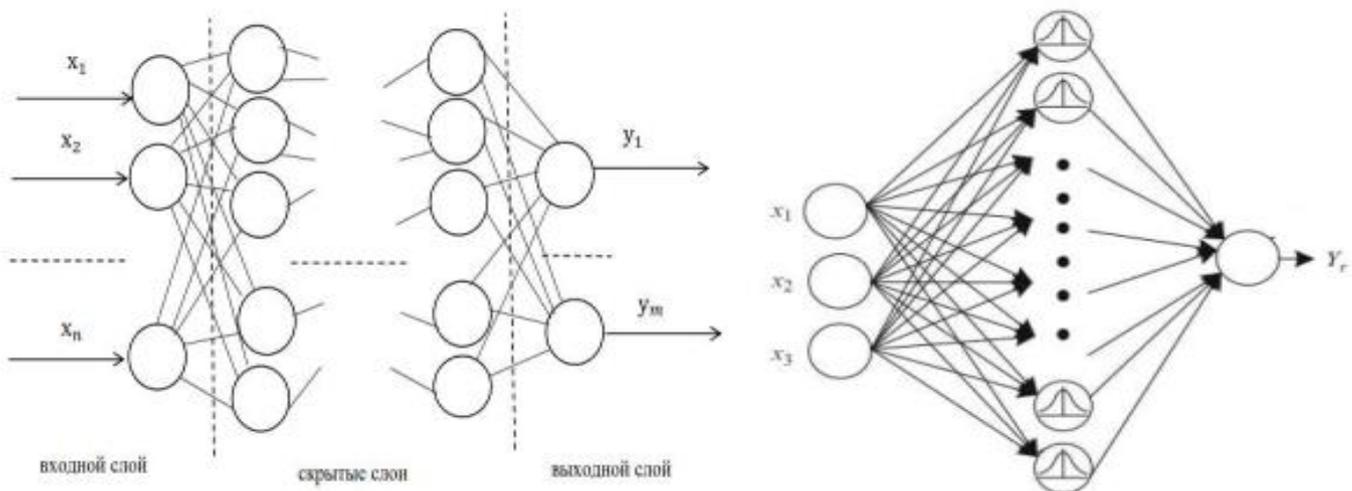


Рис. 4 – Нейронные сети: многослойная - слева, вероятностная – справа:
 $x_1, x_2 \dots$ набор входных параметров, $y_1, y_2 \dots$ - выходные параметры

Использование инструментов геоинформационного анализа при изучении пространственного водопользования Саратовской области позволило комплексно оценить данные, определяющие его структуру и объемы. В качестве пространственных исходных данных использовалась информация об административно-территориальном делении области и ее гидрологических районах (рис. 5.1).

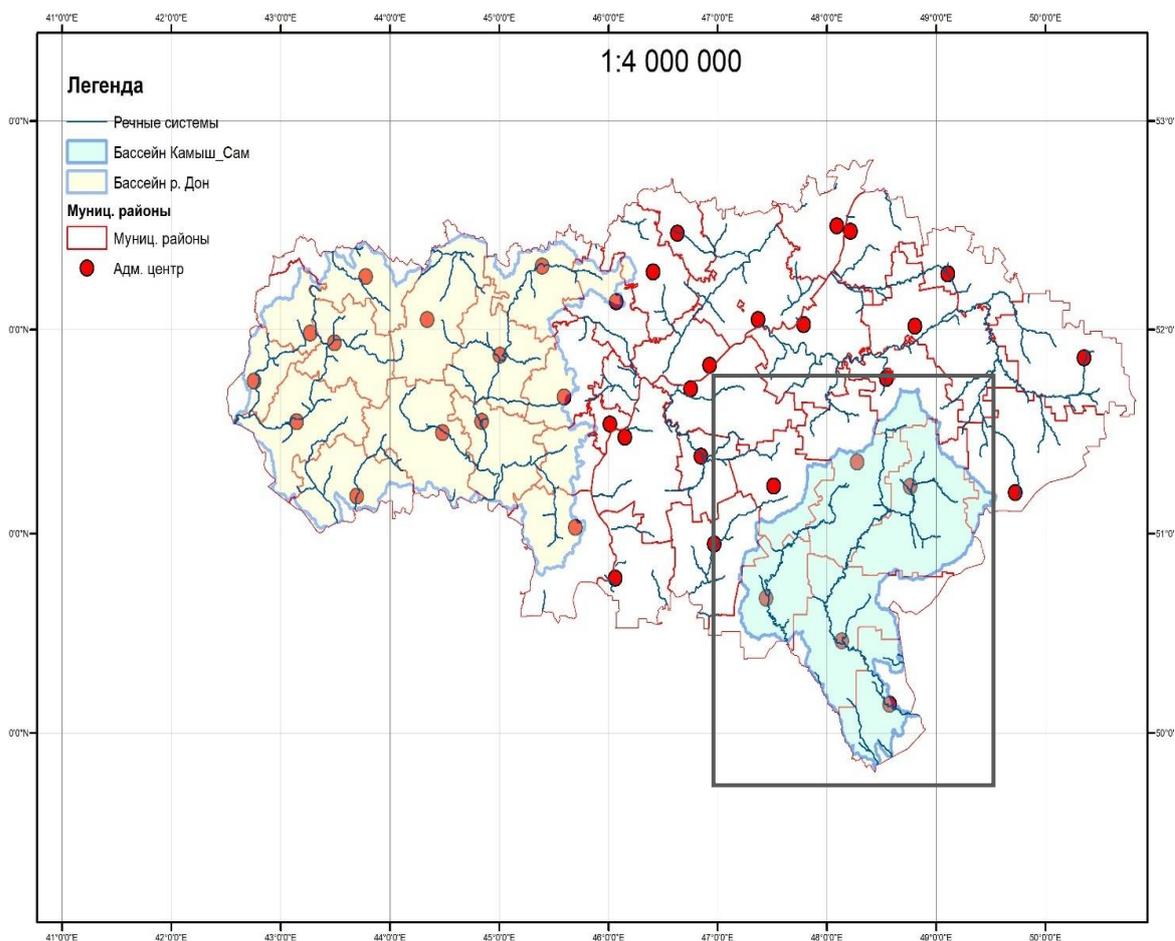


Рис. 5.1 – Административно-гидрологическое зонирование

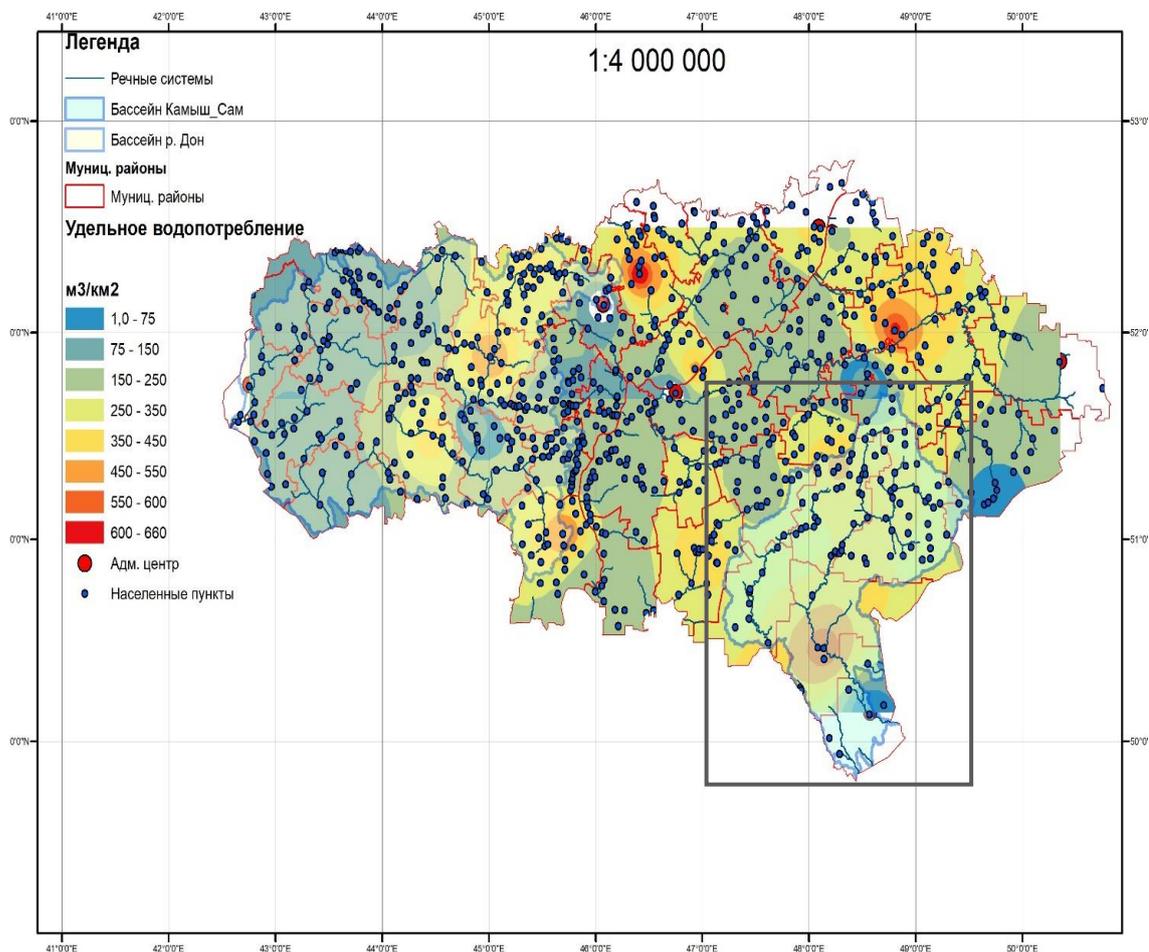


Рис. 5.2 – Карта пространственного распределения удельного расхода воды

Анализ геопространственного моделирования водопотребления из поверхностных источников по территории Саратовской области позволяет сделать вывод, что наибольшие объемы водопотребления приурочены к бассейну реки Волга (восточные районы Правобережья Саратовской области и западные районы Левобережья Саратовской области, 40–100 м³/чел) и западной части Саратовской области в бассейне реки Дон в то время, как их минимальные значения наблюдаются в бассейне Камыш-Самарских озер (южные районы Левобережья Саратовской области, 20–40 м³/чел). То есть,

На рис. 5.2 представлена карта (Саратовская область) пространственного распределения удельного расхода воды в м³/км² из поверхностных источников. Как показывает анализ, исследуемая территория бассейна Камыш-Самарских озер (Б. Узень и М. Узень) характеризуется средними значениями (250–350 м³/км²) распределения удельного водопотребления.

На следующем этапе проводится нейросетевое моделирование оценки уровня изменений естественного стока. При этом использовались сети двух типов – многослойная и вероятностная. Одна из многослойных сетей сеть обучена моделировать засушливые условия, а другая влажные, а в качестве классифицирующего контроллера переключения между ними использовалась вероятностная нейронная сеть. В исследовании использовались данные за двадцати пятилетний период. В качестве предикторов использовались естественный сток и количество осадков в различные периоды. Сравнительный анализ моделирования лет с низкой и средней влагообеспеченностью показан на рисунке 6.

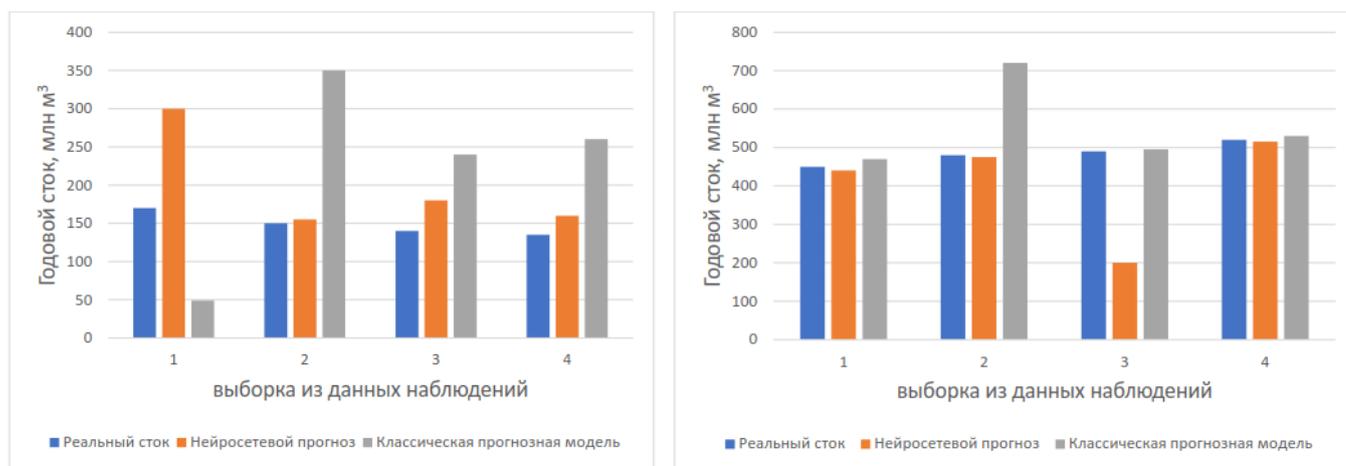


Рис. 6 – Сравнение результатов: годы низкой влагообеспеченности (слева), годы средней влагообеспеченности (справа)

Полученные пространственные характеристики позволяют провести гидрологическое и административное районирование территории, выявить пространственные закономерности водопотребления и водоотведения, провести районирование по абсолютным и удельным значениям воды, потребление и водоотведение. Все это дает возможность оценить современный уровень водопользования на трансграничной территории, а использование комбинация нескольких искусственных нейронных сетей (многослойной и вероятностной) приводит к улучшению точности прогноза изменений естественного стока и являются основой для решения проблемных вопросов межгосударственного водораздела.

Заключение

Использование методов геопространственного анализа водопользования в Саратовской области позволило провести гидрологическое и административное районирование территории, выявить пространственные закономерности водопотребления и водоотведения, провести районирование по абсолютным и удельным значениям воды, потребление и водоотведение.

Полученные данные используются при разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов, а также при составлении водохозяйственных балансов трансграничных рек Малый и Большой Узень, определении приоритетных направлений деятельности, направленной на повышение эффективности водопользования в Саратовской области и юго-западных регионах Казахстана. Это позволило приступить к реализации совместного проекта по гармонизации водных балансов трансграничных территорий и разработке мероприятий по устойчивому развитию трансграничных регионов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind / UNESCO World Water Assessment Programme. – Paris: UNESCO, 2019. – 186 p.
2. Рыбкина И. Д. Водные ресурсы российско-казахстанского трансграничного региона и их использование / И. Д. Рыбкина, Ж.Т. Сивохиц // Юг России: Экология, развитие. – 2019. – Т. 14. – № 2. – С. 70-86.
3. Разработка геоинформационной системы управления мелиоративным комплексом Саратовской области / В. В. Афонин, В.В. Корсаков, Ю.А. Заиграев и др. // Научная жизнь. – 2018. – № 5. – С. 98-106.

4. Насыров Н. Н. Геоинформационные технологии районирования ресурсов орошаемого земледелия / Н. Н. Насыров, В. В. Корсак, Т. В. Соколова // Научный обзор. – 2013. – № 2. – С. 30-38.
5. Ресурсы речного стока Казахстана / С. К. Алимкулов, А. А. Турсунова, С. К. Давлетгалиев и др. // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 3. – С. 80–94.
6. Водная стратегия Российской Федерации до 2020 г. – 2009. – [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/10049/>. (дата обращения: 12.03.2022)
7. Государственная программа управления водными ресурсами Республики Казахстан // Водное хозяйство Казахстана. – 2013. – Т. 5(55). – 72 с.
8. Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб./ Росстат. – М. – 2020. – 113 с.
9. Johnston K. Using ArcGIS Geostatistical Analyst / K. Johnston, J. M. Hoef, K. Krivoruchko, N. Lucas. – Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2001. – 300 p.
10. Muller B., Reinhardt J. Neural Networks. An introduction. — Berlin: Springer-Verlag, 1991. – 266p.
11. Соловьев Д. А. Совершенствование дождевальной техники на основе методов нейроуправления / Д. А. Соловьев, Г.Н. Камышова, С.А. Макаров и др. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 4(40). – С.23-38.
12. Kamyshova G. N. Neuromodeling in Irrigation Management for Sustainable Agriculture / G. N. Kamyshova, D. A. Soloviov, D. A. Kolganov, V.V. Korsak, N. N. Terekhova // Advances in Dynamical Systems and Applications. – 2021. – V. 16. – № 1. – P. 159-170.
13. Kamyshova G. N. Neural network models in reducing the risks of irrigated agriculture / G. N. Kamyshova // E3S Web of Conferences. ERSME-2020. 2020. Vol. 217. 10004.

Список литературы на английском языке / References in English

1. The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind / UNESCO World Water Assessment Programme. – Paris: UNESCO, 2019. – 186 p.
2. Rybkina I. D. Vodnyye resursy rossiysko-kazakhstanskogo transgranichnogo regiona i ikh ispol'zovaniye [Water resources of the Russian-Kazakhstan transboundary region and their use] / I.D. Rybkina, Zh.T. Sivokhip // South of Russia: Ecology, development. – 2019. – Vol. 14. – No. 2. – P. 70-86. [in Russian]
3. Afonin V. V. Razrabotka geoinformatsionnoy sistemy upravleniya meliorativnym kompleksom Saratovskoy oblasti [Development of a geoinformation system for managing the reclamation complex of the Saratov region] / V. V. Afonin, V. V. Korsak, Yu. A. Zaigralov et al. // Scientific life. – 2018. – No. 5. – P. 98-106. [in Russian]
4. Nasyrov N. N. Geoinformatsionnyye tekhnologii rayonirovaniya resursov oroshayemogo zemledeliya [Geoinformation technologies for zoning the resources of irrigated agriculture] / N. N. Nasyrov, V. V. Korsak, T. V. Sokolova // Scientific review. – 2013. – No. 2. – P. 30–38. [in Russian]
5. Alimkulov S. K. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana [River runoff resources of Kazakhstan] / S. K. Alimkulov, A. A. Tursunova, S. K. Davletgaliyev et al. // Hidrometeorologiya i ekologiya. – 2018. – № 3. – P. 80–94. [in Russian]
6. Vodnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2020 g. [Water strategy of the Russian Federation until 2020] – 2009. – [Electronic resource]. URL: <http://government.ru/docs/10049/>. (accessed: 12.03.2022) [in Russian]
7. Gosudarstvennaya programma upravleniya vodnymi resursami Respubliki Kazakhstan [State program of water resources management of the Republic of Kazakhstan] // Water industry of Kazakhstan. – 2013. – Vol. 5 (55). – 72 p. [in Russian]
8. Okhrana okruzhayushchey sredy v Rossii. 2020: Stat. sb. [Environmental protection in Russia. 2020: Stat. sb.] / Rosstat. – М. – 2020. – 113 p. [in Russian]
9. Johnston K. Using ArcGIS Geostatistical Analyst / K. Johnston, J. M. Hoef, K. Krivoruchko, N. Lucas. – Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2001. – 300 p.
10. Muller B., Reinhardt J. Neural Networks. An introduction. – Berlin: Springer-Verlag, 1991. – 266p.
11. Solovyov D. A. Sovershenstvovaniye dozhdeval'noy tekhniki na osnove metodov neyroupravleniya [Improvement of sprinkling technique based on neurocontrol methods] / D. A. Solovyov, G.N. Kamyshova, S.A. Makarov et al. // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. – 2020. – No. 4 (40). – P.23-38. [in Russian]
12. Kamyshova G. N. Neuromodeling in Irrigation Management for Sustainable Agriculture / G. N. Kamyshova, D. A. Soloviov, D. A. Kolganov et al. //Advances in Dynamical Systems and Applications. – 2021. – V. 16. – № 1. – P. 159-170.
13. Kamyshova G. N. Neural network models in reducing the risks of irrigated agriculture / G. N. Kamyshova // E3S Web of Conferences. ERSME-2020. 2020. Vol. 217. 10004.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.021>

РАСПОЗНАВАНИЕ БОЛИ И СТРЕССА У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Научная статья

Карамян А.С.*

ORCID: 0000-0003-2112-673X,

Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (Karamyan-as[at]rudn.ru)

Аннотация

Распознавание боли, стресса и страданий имеет решающее значение для поддержания благополучия лабораторных животных и получения достоверных научных результатов. Однако эта важная задача является сложной из-за отсутствия единого протокола и терминов, а также отсутствия абсолютных, объективных показателей для выявления боли и стресса. Поскольку животные не могут выразить словами то, что они испытывают, исследователи должны фиксировать состояние животного на основе внешнего вида, поведения, симптомов [1].

Боль и стресс могут вызвать дистресс, а биологические эффекты могут поставить под угрозу получение достоверных и воспроизводимых экспериментальных результатов [3]. С появлением современных методов исследования, высокоточного оборудования для исследования и регистрации физиологических изменений, требуется пересмотр и дополнение рекомендаций по распознаванию и оценке боли и дистресса у лабораторных животных [4].

Ключевые слова: боль, лабораторные животные, дистресс.

RECOGNITION OF PAIN AND STRESS IN LABORATORY ANIMALS

Research article

Karamyan A.S.*

RUDN University, Agrarian and Technological Institute, Moscow, Russia

* Corresponding author (Karamyan-as[at]rudn.ru)

Abstract

Recognizing pain, stress and suffering is critical to maintaining the well-being of laboratory animals and obtaining reliable scientific results. However, this important task is difficult due to the lack of a single protocol and terms, as well as the lack of absolute, objective indicators for identifying pain and stress. Since animals cannot put into words what they are experiencing, researchers must record the state of the animal based on appearance, behavior, and symptoms. [one]. Pain and stress can cause distress, and biological effects can jeopardize reliable and reproducible experimental results. [3] With the advent of modern research methods, high-precision equipment for the study and registration of physiological changes, it is necessary to revise and supplement the recommendations for recognizing and assessing pain and distress in laboratory animals [4].

Keywords: pain, laboratory animals, distress.

Актуальность

Международная ассоциация по изучению боли (IASP) определила боль у людей как “неприятное сенсорное и эмоциональное переживание, связанное с потенциальным или фактическим повреждением тканей или описанное в таких терминах”. У животных диагностика развития болевого симптома возможна при осмотре внешнего вида животного и появления болевого (“ноцифензивного”) поведения [2]. Опиоидные пептиды облегчают негативный аффективный компонент боли. Однако аффективное состояние - это не просто продукт боли, оно также может быть причиной боли. Большинство видов млекопитающих реагируют таким образом, чтобы избежать и уменьшить воздействие (потенциально или явно повреждающих ткани) раздражителей. Выявлено, что при кратковременном воздействии стресса на мозг крыс, отмечается рост клеток в гипокампе, участвующего в формировании реакции на стресс и память. При умеренном стрессе активно формируются новые нейронные связи, новые клетки мозговой ткани. [5] В отдаленном периоде, было выявлено улучшение результатов поведенческих тестов, т.к. в работу были вовлечены новые нейроны, сформированные во время воздействия кратковременного стресса. Также была выявлена обратная корреляция: при воздействии длительного стресса на организм животных, а также, при усилении интенсивности стресса, процесс образования новых нейронов снижается [9].

Цель работы заключалась в мониторинге состояния животного при болевом симптоме и предупреждение развития стресса на протяжении всего эксперимента. По этим причинам мы постоянно стремимся контролировать и смягчать воздействие боли и стресса на лабораторных животных. Боль и стресс никогда не могут быть полностью устранены. Боль обычно выполняет защитную функцию, предупреждая о надвигающейся опасности, и поэтому является адаптивной. Животные выработали соответствующие биологические паттерны, помогающие им справляться со стрессом. Таким образом, боль и стресс по своей сути не являются вредными для животного, если только они не воздействуют длительно и глубоко, вызывая структурно-функциональные повреждения.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились с 2013 по 2021 годы на базе Департамента ветеринарной медицины АТИ РУДН, ЦКП(НОЦ) РУДН и ветеринарных клиник г.Москвы и МО. Основным объектом исследований являлись как лабораторные животные (мыши, крысы, кролики). Животные содержались в стандартных условиях в соответствии с «Руководством по содержанию и использованию лабораторных животных». National Academy press. –Washington, D.C. 1996, ГОСТ Р 53434-2009, с Санитарно-эпидемиологическими правилами СП 2.2.1.3218-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник

(вивариев)» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 29 августа 2014 г. № 51). [4], [5], [6].

Кормление животных проводилось на основании СП 2.2.1.3218-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)». Животным давалась очищенная вода и нормированная по органолептическим свойствам, по показателям pH, сухого остатка, восстанавливающих веществ, диоксида углерода, нитратов и нитритов, аммиака, хлоридов, сульфатов, кальция и тяжелых металлов, на основании ГОСТ 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества» ad libitum.

Результаты исследований

Современные методы коррекции боли и стресса животного основываются на своевременно проведенной диагностике. Был предложен очень общий набор наблюдений для оценки боли и дистресса: изменение массы тела, внешний вид, клинические признаки, изменения в неспровоцированном поведении и поведенческие реакции на внешние раздражители. [7], [8] Показатели боли включают в себя общее отклонение от нормального здорового внешнего вида животного вследствие уменьшения груминга, потери массы тела и снижения двигательной активности (табл. 1). Возможны постральные изменения, такие как «сгорбленная» поза с болями в животе. Крысы могут проявлять порфириновые выделения («красные зубы») вокруг глаз. Животное может вокализовать спонтанно и/или при обращении; однако вокализация не является специфичной для боли, и животные, испытывающие боль, не обязательно вокализируют. Грызуны испускают вокализации в слышимом диапазоне, а также на частотах >20 кГц; и хотя такие ультразвуковые вокализации могут быть связаны с болью, они также испускаются при воздействии стресс-факторов. Испытывающее боль животное может не проявлять свойственной активности или социальных взаимодействий, проявлять повышенную агрессивность. Здесь знание видоспецифического поведения имеет важное значение для оценки боли. В таблице 1 приводится сводная информация о многих показателях боли у нескольких видов лабораторных.

Таблица 1 – Диагностика болевого симптома у лабораторных животных

№ п/п	Вид животного	Поведенческие реакции	Внешний вид	Внешний вид	Физиологические показатели
1.	Мышь	Снижение активности; снижение аппетита; снижение потребления алкоголя; лижет; охраняет конечности; самоуничтожение; повышенная агрессия и вокализация; отвращение к кон-специфике	<i>Схожие с крысами проявления</i>	<i>Схожие с крысами проявления</i>	<i>Схожие с крысами проявления</i>
2.	Крыса	Снижение активности; снижение аппетита; снижение потребления алкоголя; лижет; охраняет конечности; самоуничтожение; повышенная агрессия и вокализация; отвращение к кон-специфике	Неухоженный; пилоэрекция; ненормальная поза; сгорбленная поза; "красные слезы"; веки частично закрыты; мидриаз; выделения из носа	Неухоженный; пилоэрекция; ненормальная поза; сгорбленная поза; "красные слезы"; веки частично закрыты; мидриаз; выделения из носа	Сон нарушен; переохлаждение; учащенное поверхностное дыхание, может хрипеть на выдохе
3.	Морская свинка	Визг, паническое бегство при обращении; или тишина	<i>Схожие с крысами проявления</i>	<i>Схожие с крысами проявления</i>	<i>Схожие с крысами проявления</i>
4.	Кролик	Тревожный; прячется; визжит или плачет; или агрессивный; царапины / укусы; пониженный аппетит; пожирает молодняк; тонизирующая неподвижность	Может не показывать больших изменений	Может не показывать больших изменений	Слюна; быстрое поверхностное дыхание

У животных, подвергшихся местной хирургической операции (n=318, самцы, самки), наблюдались локальные симптомы боли. Из-за хирургического разреза или частичного повреждения нерва при осмотре оперированной конечности на наличие признаков спонтанной боли и/или гипералгезии и аллодинии, было установлено появление хромоты, что сопровождалось изменением позы животного и походки, с переносом веса тела на здоровую конечность. В дальнейшем, у 7,2% экспериментальных животных было выявлено изменение мышечного тонуса и температуры конечности, вокализации и/или гиперреакция/отдергивание конечности в ответ на безобидную или болезненную стимуляцию, а также тряску, облизывание, царапание или укусы пораженного участка (Christoffel, D.J. 2018; Bennett and Xie 1988; Kim and Chung 1992; Selzer et al. 1990; Tabo et al. 1999; Takaishi et al. 1996). Однако, расчесывание поврежденного участка также могло свидетельствовать о зуде, который очень трудно отличить от боли. Данные изменения могут развиваться на фоне общего благополучия клинического статуса животного.

Таким образом, у 9,6% лабораторных крыс, после проведенных хирургических манипуляций, участились случаи самотравмирования. Однако, не всегда удавалось четко распознать, является ли данная реакция ответом на боль, реакцией на потерю чувствительности, либо проявлением нарушения сенсомоторного синтеза в виде искажения восприятия размера, массы и формы собственного тела (Codere et al. 2016). При проведении экспериментальных исследований важно учитывать развитие болевого симптома, его силу, патогенез и длительность воздействия, как стресс-фактор, воздействующий на метаболические процессы в организме животного, а значит влияющий на результаты проводимых исследования.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Коробейникова Е. П. Лабораторные животные – биомодели и тест-системы в фундаментальных и доклинических экспериментах в соответствии со стандартами надлежащей лабораторной практики (GLP/GLP) / Е. П. Коробейникова, Е. Ф. Комарова // Журнал фундаментальной медицины и биологии – М., 2016.1:30-6.
2. Коррекция стресс-индуцированных нарушений экспрессии С-ФОС мононуклеарными лейкоцитами крыс методом ТЭС-терапии/ П. П. Поляков, А. А. Агумава, Л. Р. Гусарук и др. / Кубанский научный медицинский вестник-Крд., 2017;(6):106-109. DOI: 10.25207/1608-6228-2017-24-6-106-109
3. Рябыкина, Н. В. Изучение влияния стресса и антиоксидантов на уровень апоптоза элементов крови на этапах онтогенеза у лабораторных животных / Н. В. Рябыкина // Молодой ученый. – 2018. – № 49 (235). – С. 63-67.
4. ГОСТ 33044-2014 от 01.08.2015 «Принципы надлежащей лабораторной практики».
5. ГОСТ Р 53434-2009, с Санитарно-эпидемиологическими правилами СП 2.2.1.3218-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)» (утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 29 августа 2014 г. № 51)
6. Bennett, G. J. Animal models of neuropathic pain. / G. J. Bennett // In Proceedings of the 7th World Congress on Pain: Progress in Pain Research and Management. – Seattle: IASPPress, 1994. – vol.2. – pp. 495-510.
7. Codere F. The anatomy of Whitnall ligament / Codere F, Tucker NA, Renaldi B. // Ophthalmology 2016;102:2016-9.
8. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, National Research Council, National Academy Press, 2011
9. Reid J. Pain assessment in companion animals: an update / Jacky Reid, Marian Scott, Andrea Nolan // 2017 DOI: 10.1136/inp.j4513

Список литературы на английском языке / References in English

1. Korobeynikova E.P. Laboratornye zhivotnye – biomodeli i test-sistemy v fundamental'nyh i doklinicheskikh eksperimentah v sootvetstvii so standartami nadlezhashchej laboratornoj praktiki (GLP/GLP) [Laboratory animals – biomodels and test systems in fundamental and preclinical experiments in accordance with the standards of good laboratory practice (GLP / GLP)] / E. P. Korobeynikova, E. F. Komarova // Journal of Fundamental Medicine and Biology – М., 2016.1:30-6. [in Russian]
2. Korrekciya stress-inducirovannyh narushenij ekspressii S-FOS mononuklearnymi lejkocitami krysv metodom TES-terapii [Correction of stress-induced disorders of C-FOS expression by rat mononuclear leukocytes by TES therapy] / P. P. Polyakov, A. A. Agumava, L. R. Gusaruk et al. // Kuban Scientific Medical Bulletin-Krd. – 2017. – (6). – pp. 106-109. DOI: 10.25207/1608-6228-2017-24-6-106-109. [in Russian]
3. Ryabykina, N. V. Izuchenie vliyaniya stressa i antioksidantov na uroven' apoptoza elementov krovi na etapah ontogeneza u laboratornyh zhivotnyh [Study of the effect of stress and antioxidants on the level of apoptosis of blood elements at the stages of ontogenesis in laboratory animals]. / N. V. Ryabykina // Molodoj uchenyj [Young scientist]. – 2018. – No. 49 (235). — pp. 63-67. [in Russian]
4. GOST 33044-2014 of 08/01/2015 «Principy nadlezhashchej laboratornoj praktiki». ["Principles of Good Laboratory Practice"]. [in Russian]
5. GOST R 53434-2009, Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k ustrojstvu, oborudovaniyu i sodержaniyu eksperimental'no-biologicheskikh klinik (vivarijev)» (utverzhdeny postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 29 avgusta 2014 g. № 51) [with Sanitary and epidemiological rules SP 2.2.1.3218-14 "Sanitary and epidemiological requirements for the arrangement, equipment and maintenance of experimental biological clinics (vivariums)" (approved by the decision of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of August 29 2014 No. 51)] [in Russian]
6. Bennett, G. J. Animal models of neuropathic pain. / G. J. Bennett // In Proceedings of the 7th World Congress on Pain: Progress in Pain Research and Management. – Seattle: IASPPress, 1994. – vol.2. – pp. 495-510.
7. Codere F. The anatomy of Whitnall ligament/ Codere F, Tucker NA, Renaldi B.// Ophthalmology 2016;102:2016-9.
8. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, National Research Council, National Academy Press, 2011
9. Reid J. Pain assessment in companion animals: an update / Jacky Reid, Marian Scott, Andrea Nolan // 2017 DOI: 10.1136/inp.j4513

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.022>

УЛУЧШЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ ОТРАБОТАННОГО ГИДРОПОННОГО РАСТВОРА КОРОТКОВОЛНОВЫМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Научная статья

Корепанов Д.А.¹, Шведова Т.Е.^{2, *}, Митякова И.И.³, Ефимова Т.Н.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-1268-5911;

^{1, 2, 3, 4} Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

* Корреспондирующий автор (ShvedovaTE[at]volgatech.net)

Аннотация

В работе приведены данные лабораторных экспериментов, посвященных улучшению питательных качеств отработанного гидропонного раствора коротковолновым ультрафиолетовым (УФ) облучением. Процесс исследования заключался в изучении влияния отработанного раствора, облученного с разной интенсивностью потоком 11,2 Вт/м на всхожесть семян кресс-салата сорта Данский. Результаты эксперимента показали значительное превышение количественных показателей всхожести семян салата за первые сутки в отработанном гидропонном растворе, облученном УФ в течение 15 минут.

Ключевые слова: гидропоника, ультрафиолетовое облучение, питательный раствор, семена.

IMPROVING NUTRITIONAL QUALITIES OF SPENT HYDROPONIC SOLUTION VIA SHORT-WAVE ULTRAVIOLET IRRADIATION

Research article

Korepanov D.A.¹, Shvedova T.E.^{2, *}, Mityakova I.I.³, Efimova T.N.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-1268-5911;

^{1, 2, 3, 4} Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia

* Corresponding author (ShvedovaTE[at]volgatech.net)

Abstract

The paper presents data from laboratory experiments on improving the nutritional qualities of the spent hydroponic solution via short-wave ultraviolet (UV) irradiation. The research process involved studying the effect of the spent solution irradiated with a flow of 11.2 W/m at different intensities on the germination of seeds of the Dansky variety garden cress. The results of the experiment showed a significant excess of quantitative indicators of germination of lettuce seeds for the first day in a spent hydroponic solution irradiated with UV for 15 minutes.

Keywords: hydroponics, ultraviolet irradiation, nutrient solution, seeds.

Введение

В настоящее время актуальный характер приобретает решение вопроса круглогодичного производства свежих овощей непосредственно в местах их потребления [4]. Первостепенной становится задача разработки новых ресурсо- и энергосберегающих агротехнологий защищенного грунта, обеспечивающих круглогодичное производство продукции. В условиях высоких рисков хозяйственной деятельности выращивание овощей методом гидропонии начинает развиваться как динамичная и конкурентноспособная отрасль сельского хозяйства [2], [5], [10]. В то же время в процессе вегетационной эксплуатации происходит старение гидропонных растворов, в связи с чем разработка технологии для их восстановления является актуальной. Наиболее перспективным и целесообразным представляется использование (УФ) облучения, способствующего обеззараживанию жидких сред уничтожением патогенных микроорганизмов [3]. В то же время возможность использования растворов и механизм изменения свойств водных растворов после воздействия «жёстким» коротковолновым ультрафиолетом полностью не изучены [7].

Цель настоящей работы - исследование влияния облученного УФ отработанного гидропонного раствора на посевные качества семян кресс – салата сорта Данский. При решении поставленной цели научная новизна заключается в определении наилучшей дозы УФ облучения отработанного гидропонного раствора.

Методы и принципы исследования

Эксперимент по изучению влияния облучения питательного раствора и дистиллированной воды на растения кресс-салата сорта Данский раннеспелый при выращивании методом гидропонии проводился согласно ГОСТ [1].

Математическая обработка результатов исследований [6] проведена с помощью программы Statistica 6.0 и пакета анализа данных Excel. Отработанный гидропонный раствор (месяц эксплуатации) предоставлен тепличным хозяйством ООО «Грин прайс» Республика Марий Эл, которое специализируется на выращивании листового салата (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Концентрация элементов в питательном растворе

Элементы питания	Азот, мг/л	Фосфор, мг/л	Калий, мг/л	Кальций, мг/л	Магний, мг/л
Концентрация в гидропонном растворе	200,0	80,0	200,0	200,0	50,0
Концентрация в гидропонном растворе (месяц эксплуатации)	66,7	64,0	99,2	100,2	54,0

Облучение отработанного питательного раствора и дистиллированной воды проводилось в лаборатории Ботанического сада -института ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» в боксе абактериальной воздушной среды БАВнп-01 - «Ламинар-С» -1,2 (01) экспозицией 5 и 15 минут в стеклянной посуде емкостью 0,5 литра. Источник облучения – газоразрядная лампа низкого давления **TUV 15/ TUV 30 Philips**, излучающая коротковолновые ультрафиолетовые лучи с максимумом на длине волны 253,7 нм (УФ-С). Специальное стекло отфильтровывает 185 нм линию спектра, ответственную за образование озона. Бактерицидный поток составляет 11,2 Вт/м.

Основные результаты

Результаты эксперимента, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Всхожесть семян кресс-салата в отработанном растворе

Вариант опыта	Среднеарифметические значения, $\bar{x} \pm m$	max	min	Коэффициент вариации, %	Точность опыта (P)
1 сутки					
Без облучения	84,0±2,35	91	81	5,58	2,8
Облучение 5 минут	85,5±1,71	90	82	3,99	2,0
Облучение 15 минут	92,5±0,96	94	90	2,07	1,0
2 сутки					
Без облучения	90,0±1,41	92	86	3,14	2,4
Облучение 5 минут	90,0±0,41	91	89	0,91	0,4
Облучение 15 минут	95,5±0,50	96	94	1,05	0,5

Данные таблицы 2 показывают значительное превышение количественных показателей всхожести семян салата за первые сутки в отработанном гидропонном растворе, облученном УФ в течение 15 минут. Существенность различия по отношению к варианту опыта «без облучения» $t_{факт.} = 3,36 > t_{табл.} = 3,18$ при $P = 0,05$. На отдельных проростках появились семядольные листья. УФ радиация ниже данных значений не привела к существенной стимуляции ростовых процессов. Существенность различия по отношению варианта опыта с «облучением 15 минут» к варианту опыта с «облучением 5 минут» также значительна $t_{факт.} = 3,58 > t_{табл.} = 3,18$, при $P = 0,05$. Аналогичные показатели проявляются по истечении вторых суток наблюдений. Существенность различия наблюдается между вариантом опыта с «облучением 15 минут» и вариантами «опыта без облучения», «облучение 5 минут» ($t_{факт.} = 3,67 > t_{табл.} = 3,18$ и $t_{факт.} = 8,07 > t_{табл.} = 3,18$ соответственно при $P = 0,05$). Существенность различия прослеживается между длиной проростков варианта опыта «облучение 15 минут» и вариантами опыта «без облучения», «облучение 5 минут» ($t_{факт.} = 3,37 > t_{табл.} = 1,96$ и $t_{факт.} = 4,16 > t_{табл.} = 1,96$ соответственно при $P = 0,05$) (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Длина проростков кресс салата в отработанном растворе, см

Вариант опыта	Среднеарифметические значения, $\bar{x} \pm m$	max	min	Коэффициент вариации, %	Точность опыта (P)
Без облучения	6,81±0,20	12	1	32,73	2,9
Облучение 5 минут	6,60±0,20	13	2	32,30	3,3
Облучение 15 минут	7,68±0,16	12	3	22,82	2,1

Распределение длины проростков семян существенно различается с теоретическим ($\chi^2_{факт.} > \chi^2_{табл.}$ при $P = 0,05$ и числом степеней свободы $k-3$) во всех вариантах опыта ($\chi^2_{факт.} = 22,99 > \chi^2_{табл.} = 21,03$ число степеней свободы 12 в варианте опыта «без облучения», $\chi^2_{факт.} = 23,95 > \chi^2_{табл.} = 21,03$ число степеней свободы 12 в варианте опыта «облучение 5 минут», $\chi^2_{факт.} = 27,04 > \chi^2_{табл.} = 15,50$ число степеней свободы 8 в варианте опыта «облучение 15 минут») (см. рисунок 1- 3).

В настоящее время при анализе биологических объектов методом Пирсона считается целесообразным применение поправки на непрерывность, предложенной в 1934 году английским статистиком Фрэнком Йейтсом (*Frank Yates, 1902-1994*), которая сейчас известна под названием поправки Йейтса (*Yates's correction*). Поправка заключается в вычитании 0,5 из абсолютного значения разности между фактическим и ожидаемым количеством наблюдений в каждой ячейке, что ведет к уменьшению величины критерия [8], [9].

Таким образом, уточненное распределение длины проростков всходящих семян существенно различается с теоретическим в варианте опыта «облучение 5 минут» ($\chi^2_{\text{факт.}} = 26,22 > \chi^2_{\text{табл.}} = 21,03$ при $P = 0,05$).

В то же время в варианте опыта «без облучения» различие не существенно при $P = 0,05$ ($\chi^2_{\text{факт.}} = 16,47 > \chi^2_{\text{табл.}} = 21,02$), а в варианте опыта «облучение 15 минут» при $P = 0,01$ ($\chi^2_{\text{факт.}} = 18,93 > \chi^2_{\text{табл.}} = 20,10$) при числе степеней свободы 12 и 8 соответственно.

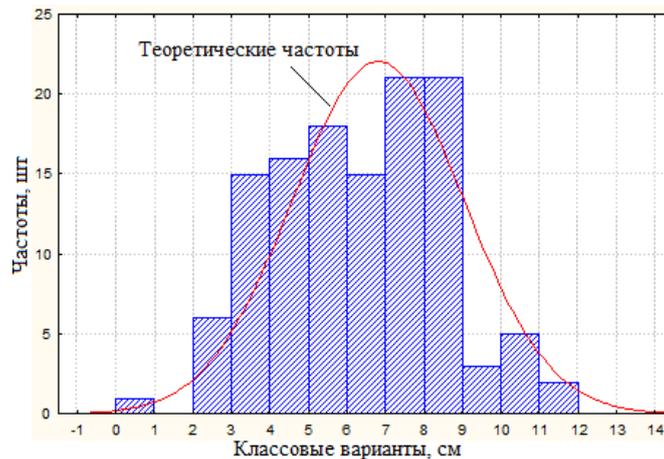


Рис. 1. – Кривые нормального и эмпирического распределения длины проростков семян (вариант опыта «без облучения»)

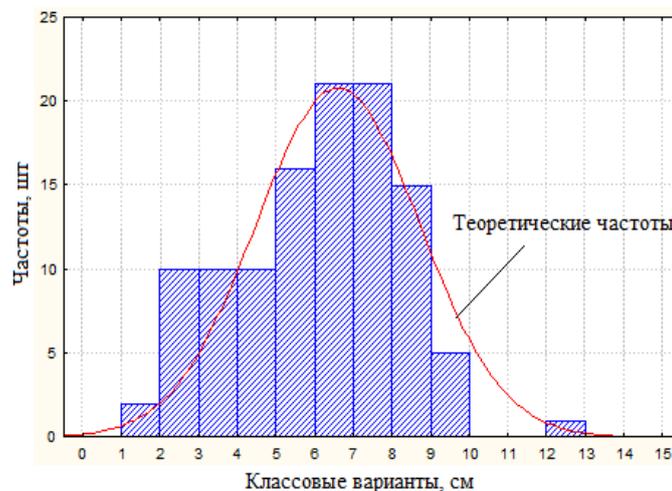


Рис. 2. – Кривые нормального и эмпирического распределения длины проростков семян (вариант опыта «облучение 5 минут»)

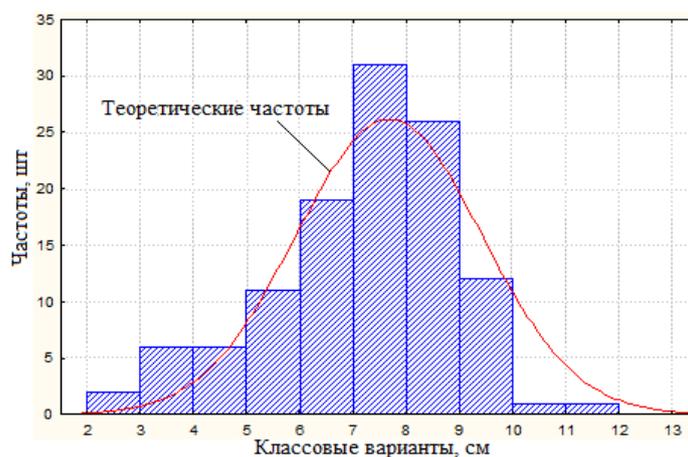


Рис. 3. – Кривые нормального и эмпирического распределения длины проростков семян (вариант опыта «облучение 15 минут»)

В связи с тем, что функциональные возможности математического пакета Statistica 6.0 не предусматривают поправки Йейтса, дополнительные поправочные расчеты были проведены в математическом пакете Mathcad 14, который является системой компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированной на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением. Функциональные возможности Mathcad 14 дают возможность составить полностью программу анализа нормального распределения хи- квадрат Пирсона. Аналогично поставленную задачу можно решить в программе для работы с электронными таблицами Microsoft Office Excel (см. рисунок 4).

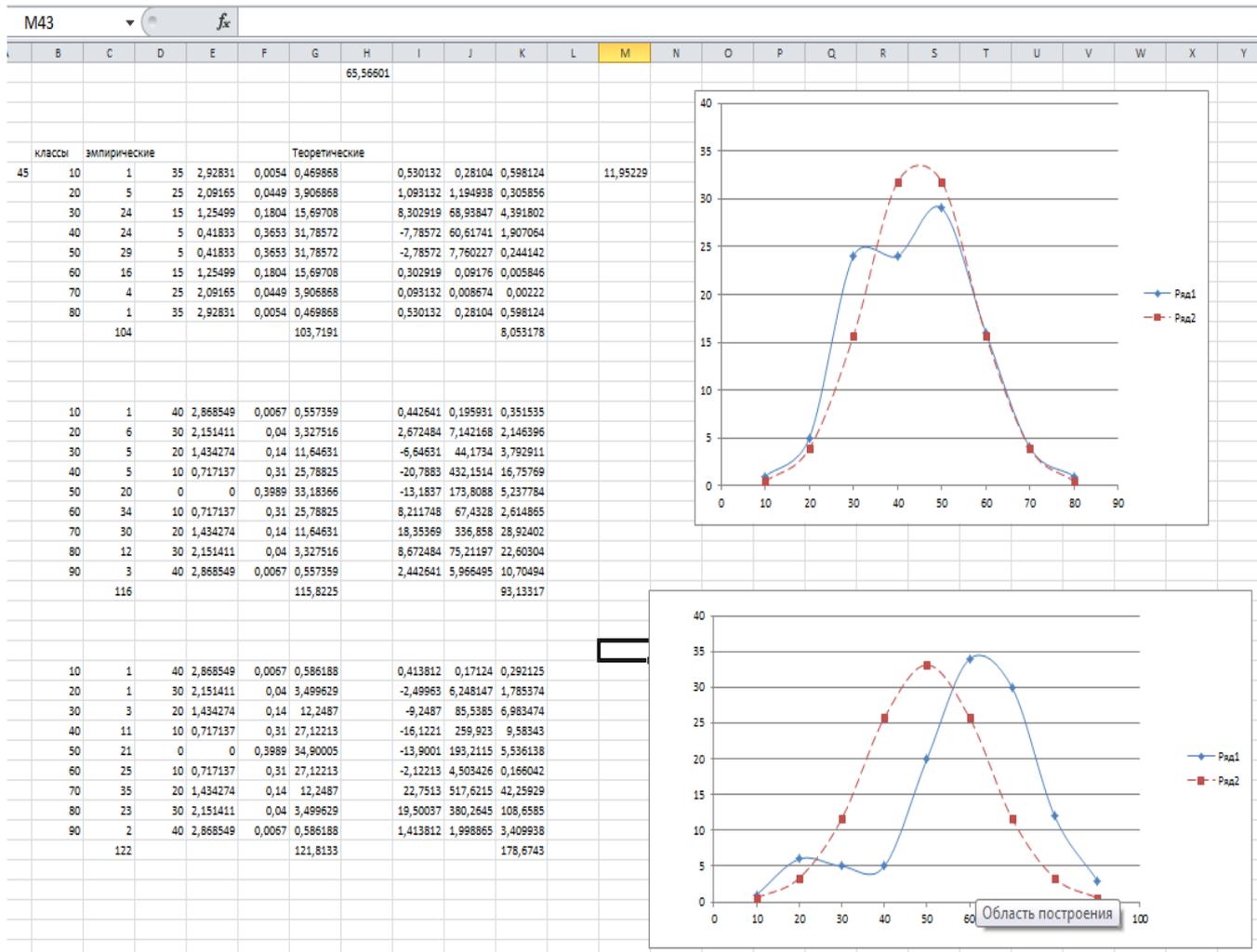


Рис. 4 – Скриншот программы анализа нормального распределения Пирсона

Проведенные исследования показали перспективность использования восстановленного после УФ облучения раствора для предпосевной подготовки семян.

С целью определения возможного влияния УФ облучения на структуру воды параллельно был проведен аналогичный эксперимент всхожести семян (см. таблицу 4, 5) на облученной дистиллированной воде.

Таблица 4 – Всхожесть семян кресс-салата в дистиллированной воде

Вариант опыта	Среднеарифметические значения, $\bar{x} \pm m$	max	min	Коэффициент вариации, %	Точность опыта (P)
Энергия прорастания					
Без облучения	82,5 ± 2,63	88	78	6,38	3,1
Облучение 5 минут	87,0 ± 0,58	88	86	1,33	0,6
Облучение 15 минут	84,5 ± 2,63	92	80	6,22	3,1
Всхожесть					
Без облучения	90,0 ± 2,16	94	84	4,80	2,4
Облучение 5 минут	91,5 ± 2,06	96	88	4,51	2,2
Облучение 15 минут	89,0 ± 2,65	96	84	5,95	2,9

Данные таблицы 4 показывают, что существенности различия между вариантами не наблюдается. Во всех случаях $t_{факт.} < t_{табл.}$.

Таблица 5 – Количество хорошо развитых проростков

Вариант опыта	Среднеарифметические значения, $\bar{x} \pm m$	max	min	Коэффициент вариации, %	Точность опыта (P)
Энергия прорастания					
Без облучения	85,0 ± 2,38	88	78	5,60	2,8
Облучение 5 минут	86,5 ± 1,26	90	84	2,91	1,5
Облучение 15 минут	85,0 ± 3,11	94	80	7,32	3,7

Из табл. 5 видно, что наибольший процент хорошо развитых проростков - в варианте опыта «облучение 15 минут».

Заключение

Исследования показали перспективность использования восстановленного УФ облучением радиационным потоком 11,2 Вт/м отработанного гидропонного раствора для хозяйственного применения. Результаты эксперимента показали, что наилучшей дозой, при которой произошло значительное превышение количественных показателей всхожести семян салата за первые сутки в отработанном гидропонном растворе является доза «облучение 15 минут». Длина проростков кресс- салата в отработанном растворе также достигает своего максимального значения при выше указанной дозе. В то же время влияние УФ радиации на состав раствора требует дальнейшего изучения.

Исследования в данном направлении необходимо продолжить.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 60 с.
- Антипова, О.В. Салат поиск СТ 16 для малообъемного выращивания на гидропонных установках в весенне-летнем обороте / О.В. Антипова, О.Р. Давлетбаева, А.Н. Ховрин и др. // Картофель и овощи. – 2020. – № 6. – С. 37- 40.
- Электрофизические технологии: новая концепция обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением / Н. И. Базалеев, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко и др. //Наука та інновації. – 2005. – № 1. – С. 99-109.
- Буткин, А.В., Культивирование салата в условиях защищенного грунта на Севере /А.В. Буткин, Е.Е. Григорай, Т.К. Головки и др.//Аграрная наука, 2011. – № 8. – С. 24 – 26.
- Король, В.Г. Гибриды огурца, рекомендуемые для выращивания в защищенном грунте в условиях искусственного освещения /В.Г.Король // Овощи России. – 2021. № 5. С. 32-38.
- Математическая статистика: учебник и практикум для вузов / Н.Ш. Кремер. – М: Издательство Юрайт, 2020. – 259 с.
- Путилова, Т.А. Использование ультрафиолетового излучения при восстановлении гидропонных растворов: Автореф. дисс...канд. техн. наук.- Челябинск, 2013. – 24 с.
- Свидетельство № 2016661011 Российская Федерация. Biologicum test – Программа для оценки различий между эмпирическим и теоретическим распределением частот с поправкой Йейтса для биологических объектов / Мухортов Д.И., Корепанов Д.А., Нуреева Т.В.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет». Зарег. в реестре программ для ЭВМ 01.08.2016.
- Свидетельство № 2016618434 Российская Федерация. Yates correctio – Программа для расчета теоретических частот для кривой нормального распределения биологических объектов с поправкой Йейтса /Мухортов Д.И., Корепанов Д.А., Краснов В.Г.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет». Зарег. в реестре программ для ЭВМ 01.08.2016.
- Влияние тонкослойных аналогов почвы на продукционный процесс растений салата в интенсивной светокультуре / О.Р. Удалова, Л.М. Аникина, Ю.В. Хомяков и др. //Овощи России. – 2021. – № 1.- С. 33-38.

Список литературы на английском языке / References in English

- GOST 12038-84. Semena sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti [Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination]. – М.: Publishing house of standarts, 2004. – 60 p. [in Russian]
- Antipova, O.V. Salat poisk ST 16 dlja maloob'emnogo vyrashhivaniya na gidroponnyh ustanovkakh v vesenne-letnem oborote [Salad search ST 16 for low-volume cultivation on hydroponic plants in spring-summer turnover] / O.V. Antipova, O.R. Davletbaeva, A.N. Hovrin and other / Kartofel' i ovoshhi. -2020. -№ 6. – pp. 37-40. [in Russian]
- Elektrofizicheskie tekhnologii: novaya koncepciya obezzarazhivaniya vody ul'trafiioletovym izlucheniem [Electrophysical technologies: a new concept of water disinfection by ultraviolet radiation] / N. I. Bazaleev, V. F. Klepikov, V. V. Litvinenko et al. //Nauka ta innovacii. – 2005. – № 1. – pp. 99-109. [in Russian]
- Butkin, A.V. Kul'tivirovanie salata v usloviyah zashchishchennogo grunta na Severe [Cultivation of lettuce in conditions of protected soil in the North] /A.V.Butkin, E.E. Grigorai, T.K. Golovko and other // Agrarnaya nauka. – 2011.- № 8. – pp. 24-26. [in Russian]
- Korol', V.G. Gibridy ogurca, rekomenduemye dlja vyrashhivaniya v zashchishhennom grunte v usloviyah iskusstvennogo osveshheniya [Cucumber hybrids recommended for growing in protected ground under artificial lighting conditions] / V.G. Korol' // Ovoshhi Rossii. – 2021. – № 5. – pp. 32-38. [in Russian]
- Kremer, N.Sh. Matematicheskaja statistika: uchebnik i praktikum dlja vuzov [Mathematical statistics: textbook and workshop for universities] / N.S. Kremer. – М.: Publishing house Jurajt, 2020. – 259 p. [in Russian]

7. Putilova, T.A. Ispol'zovanie ul'trafioljetovogo izlucheniya pri vosstanovlenii gidroponnyh rastvorov [The use of ultraviolet radiation in the restoration of hydroponic solutions]: Abstract. diss...of PhD in Engineering. – Chelyabinsk, 2013. -24 p. [in Russian]

8. Svidetel'stvo № 2016661011 Rossijskaya Federaciya. Biologicum test – Programma dlya ocenki razlichij mezhdru empiricheskim i teoreticheskim raspredeleniem chastot s popravkoj Jejtza dlya biologicheskikh ob"ektov [Certificate № 2016661011 Russian Federation. Biologicum test is a program for assessing the differences between empirical and theoretical frequency distribution with the Yates correction for biological objects] / Mukhortov D.I., Korepanov D.A., Nureeva T.V.; the applicant and the right holder of the Volga State Technological University.- Registered in the register of computer programs on 01.08.2016.

9. Svidetel'stvo № 2016618434 Rossijskaya Federaciya. Yates correctio – Programma dlya rascheta teoreticheskikh chastot dlya krivoj normal'nogo raspredeleniya biologicheskikh ob"ektov s popravkoj Jejtza [Certificate № 2016618434 Russian Federation. [Yates correctio is a program for calculating theoretical frequencies for the curve of the normal distribution of biological objects with the Yates correction] /Mukhortov D.I., Korepanov D.A., Krasnov V.G.; the applicant and copyright holder of the Volga State Technological University. Registered in the register of computer programs 01.08.2016.

10. Udalova, O.R. Vlijanie tonkoslojnyh analogov pochvy na produkcionnyj process rastenij salata v intensivnoj svetokul'ture [The influence of thin-layer soil analogues on the production process of lettuce plants in intensive light culture] / O.R. Udalova, L.M. Anikina, Ju.V. Homjakov and other // Ovoshhi Rossii. – 2021. – № 1. – pp. 33-38. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.023>

ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ У КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ

Научная статья

Кривикова А.Н.^{1,*}, Бакай Ф.Р.², Мехтиева К.С.³

¹ ORCID: 0000-0003-0355-3156;

² ORCID: 0000-0002-7417-4308;

³ ORCID: 0000-0001-9672-4617;

^{1,2,3} Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (anna.krovikova[at]mail.ru)

Аннотация

В статье представлен материал о широком использовании голштинской породы в Московской области. Использование быков голштинской породы в условиях Московской области способствует повышению молочной продуктивности. У коров сохраняются высокие показатели массовой доли жира и белка при увеличении удоя. Влияние голштинской породы на репродуктивные функции коров сказывается на возрасте первого осеменения, увеличении продолжительности сервис-периода, индифференс - периода и межотельного периода.

Ключевые слова: генотип, порода, линия, воспроизводство, сервис-период, индифференс-период, молочная продуктивность коров.

ON THE REPRODUCTIVE ABILITY OF HOLSTEIN COWS OF DIFFERENT GENOTYPES

Research article

Krovikova A.N.^{1,*}, Bakay F.R.², Mekhtieva K.S.³

¹ ORCID: 0000-0003-0355-3156;

² ORCID: 0000-0002-7417-4308;

³ ORCID: 0000-0001-9672-4617;

^{1,2,3} Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russia

* Corresponding author (anna.krovikova[at]mail.ru)

Abstract

The article presents material on the widespread use of the Holstein breed in Moscow Oblast. The use of Holstein bulls in the conditions of Moscow Oblast contributes to an increase in dairy productivity. Cows retain high indicators of the mass fraction of fat and protein with an increase in milk yield. The influence of the Holstein breed on the reproductive functions of cows affects the age of the first insemination, an increase in the duration of the service period, the indifference period and the calving interval.

Keywords: genotype, breed, line, reproduction, service period, indifference period, dairy productivity of cows.

Введение

В течение последних десятилетий для совершенствования черно-пестрого скота в России широко используется высокопродуктивная голштинская порода с целью создания молочного типа черно-пестрого скота. Успешное применение голштинской породы показано во многих работах, увеличение молочной продуктивности наблюдается практически во всех хозяйствах Московской области (Савенко Н.А., 2011г.). Однако ряд исследователей подчеркивает, что коровы, полученные от скрещивания, не отличаются требуемыми воспроизводительными способностями (Болгов и др. 2010г., Мехтиева К.С. 2017г., Илялов Д.Ф. 2017г., Лепехина Т.В. 2012г.). Имеются отдельные стада, где сервис-период у коров с удоем от 7000 кг молока составляет более 130 суток, что очевидно и закономерно, так многие исследователи отмечают зависимость воспроизводительной способности от высокой молочной продуктивности. О лактационной доминанте упоминается в работах Ваттио М. (1996г.). Плохая воспроизводительная способность у высокопродуктивных коров (трудные отелы, частые эндометриты, низкая оплодотворяемость, продолжительный сервис-период и индифференс –период), является основной причиной выбраковки из стада. Учитывая разноречивость мнений селекционеров и исследователей, нами проведено изучение показателей воспроизводительной способности и их взаимосвязи с продуктивностью у коров голштинской породы разных генотипов.

Методика исследований

Для изучения сравнительной характеристики популяционно-генетических параметров коров голштинской породы в 2019-2021гг. были проведены исследования в ПЗ «Повадино» Домодедовского района Московской области. В ПЗ «Повадино» ведется целенаправленная племенная работа и строго организован племенной учет. Условия кормления и содержания высокопродуктивных коров были традиционными и соответствовали требованиям, что позволяет получать высокие удои у коров. В пределах каждой линии у коров определяли возраст первого отела, продолжительность сервис и индифференс периода, межотельный интервал, продолжительность стельности за ряд смежных лактаций. Молочную продуктивность оценивали у коров разных генотипов по величине удоя за первую и лучшую лактации, при этом учитывали массовую долю жира и массовую долю белка. Определяли количество молочного жира и молочного белка за лактацию. В обработку внесены данные о происхождении 315 коров. Цифровой материал обработан биометрически с использованием компьютерных программ.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что голштинизированные коровы, имели достаточно высокие удои по первой лактации, потомки трех линий по величине удоя не отличались. Нами не выявлены достоверно значимые различия и по массовой доле жира и белка у коров разных линий, все это говорит о том, что стадо по показателям молочной продуктивности выравнено. Голштинские быки разных линий, используемые в данном стаде оказали определенное влияние на показатели молочной продуктивности. Стремление получать высокую продуктивность не могло не сказаться на воспроизводительных качествах коров, мы наблюдаем разницу по возрасту первого отела и если коровы линии Вис Бэк Айдиал 1013415 и Монтвик Чифтейн 95679 имели возраст первого отела 27,5 месяцев, то коровы линии Рефлекшн Соверинг 1989998 пришли в охоту позднее и отел состоялся в 28,4 месяца (Рис.1).

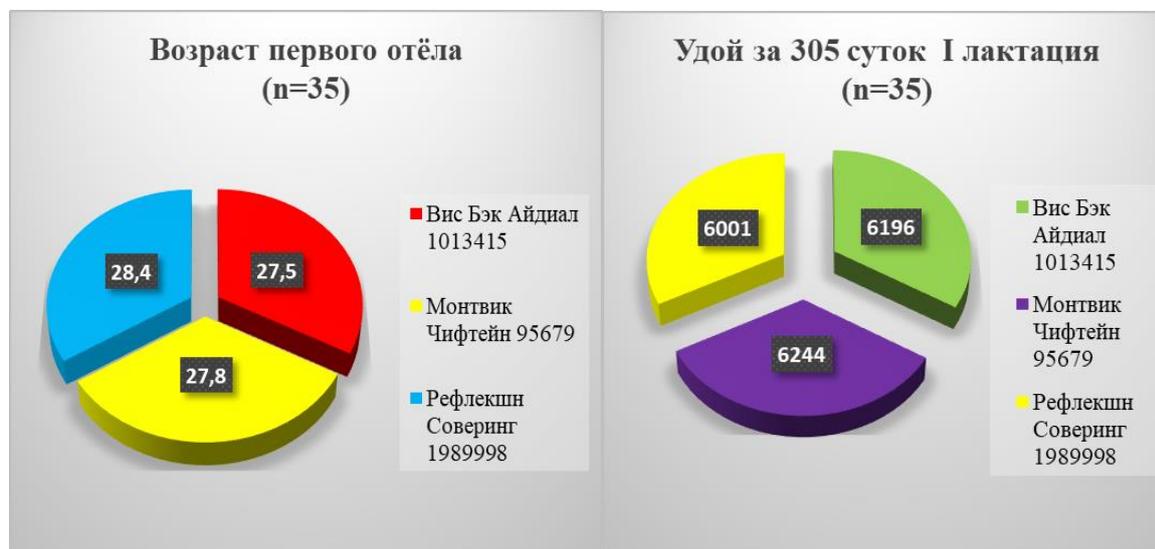


Рис. 1 – Возраст первого отела и молочная продуктивность коров разных генотипов

Дальнейший анализ воспроизводительных качеств показал, что в пределах каждой линии мы наблюдаем определенные изменения они связаны с увеличением продолжительности сервис-периода и связанного с ним межотельного периода (Таблица 1).

Таблица 1 – Продолжительность межотельных и сервис-периодов у коров разных генотипов

Линия	Отел	Продолжительность, сут.			
		Сервис-период	Индиференс-период	МОП	Эмбриогенез
Вис Бэк Айдиал 1013415	I	175±6,9	75±2,3	462±7,0	287
	II	150±8,5	80±4,5	434±6,5	284
	III	130±7,0	45±2,8	414±6,9	284
Монтвик Чифтейн 95679	I	111±4,3	43±3,6	395±9,3	284
	II	109±4,4	50±5,2	393±7,8	284
	III	168±8,3	30±6,7	452±9,0	284
Рефлекшн Соверинг 1989998	I	107±3,2	19±2,0	391±6,3	284
	II	95±4,1	27±5,0	380±4,5	285
	III	122±3,1	38±2,1	406±9,7	284

Оценивая продолжительность сервис-периода следует отметить, что у коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 он оказался достоверно большим по продолжительности 175 суток после отела, чем у коров линии Монтвик Чифтейн 95679 и Рефлекшн Соверинг 198998 на 64 и 68 суток, соответственно ($P \geq 0,999$). После второго отела мы вновь отмечаем более продолжительный сервис-период у коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 на 41 и 55 суток, чем у коров линии Монтвик Чифтейн 95679 и Рефлекшн Соверинг 198998. По третьему отелу у коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 сервис-период составил 130 суток. Отдельные особи на фоне внешне нормального самочувствия и интенсивного лактирования не могли оплодотвориться в течение нескольких половых циклов. Таких животных, по мнению Ваттио М.(1996г.), следует считать повторными «бридерами». И как отмечает автор, таких животных с низкой плодовитостью более 12% в любом стаде.

Несколько другая картина наблюдается среди потомков линии Рефлекшн Соверинг 198998, при относительно высоком удое, сервис-период после первого отела составил 107 суток, далее после второго мы отмечаем снижение до 95 суток и после третьего отела увеличение до 122 суток.

Рассматривая составляющие межотельного периода, мы изучили продолжительность индифференс периода, т.е. от отела до первой охоты (тихой), как принято называть у специалистов в хозяйстве. Оказалось, что первые ранние признаки половой охоты были выявлены у коров линии Рефлекшн Соверинг 198998 – 19 суток, при продолжительности сервис-периода 107 суток, это достоверно ($P \geq 0,999$) ниже чем, у сверстниц коров других линий.

После второго отела у этих животных продолжительность индифференс периода увеличивается на 8 суток, но при этом и сокращается продолжительность сервис-периода на 12 суток. После третьего отела коровы линии Рефлекшин Соверинг 198998 проявляют признаки первой охоты на 38 сутки, и это ниже, чем у коров линии Вис Бэк Айдиал на 7 суток. Ранним сроком проявления признаков первой охоты после третьего отела характеризовались коровы линии Монтвик Чифтейн 95679 – 30 суток.

В целом продолжительный сервис-период оказывает влияние на продолжительность межотельного периода. Среди всех коров наиболее продолжительным 462 суток он оказался у коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 после первого тела, и даже если после второго и третьего отелов мы отмечаем его высоким, при снижении до 434 и 414 суток, то по этому показателю уступают им коровы линии Монтвик Чифтейн 95679 и Рефлекшин Соверинг 198998. Продолжительность стельности у коров разных линий находилась в пределах физиологической нормы и составляла при минимальных значениях 284 суток при максимальных 287 суток у коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415.

Причины искусственного бесплодия можно отнести к организационным моментам воспроизводства, куда могут войти и осеменение коров без учета срока овуляции, тихая охота, пропуск половых циклов, отчасти и подбор производителей. Поэтому мы решили условно разделить потомков каждой линии по сроку отела на три группы (ранний, средний и поздний). Анализ показал, что коровы линии Вис Бэк Айдиал 1013415 и Монтвик Чифтейн 95679, можно отнести к группе со средним отелом, а вот группу коров с поздним отелом составляют потомки линии Рефлекшин Соверинг 198998 -28,4 мес., эту группу представляют в большей степени животные которые растелились в возрасте от 24 до 32 месяцев. В скороспелую группы вошли коровы, растелившиеся в возрасте от 23 месяцев. Для нас остается вопрос открытым, каким образом коровы линии Рефлекшин Соверинг 198998, при позднем первом отеле имели наименьшие по продолжительности сервис- период и индифференс период, можно лишь предположить влияние отдельных отцов и матерей при подборе. Данное предположение требует дальнейших исследований. Для оценки воспроизводительной способности, рассчитывали коэффициент воспроизводительной способности (Рис.2). Коэффициент воспроизводительной способности, это интервальный показатель, характеризующий плодовитость коров. Оптимальным является этот коэффициент равный 1. В данных исследованиях потомки ведущих линий не имели таковой, ни после первой, второй и третьей лактации.

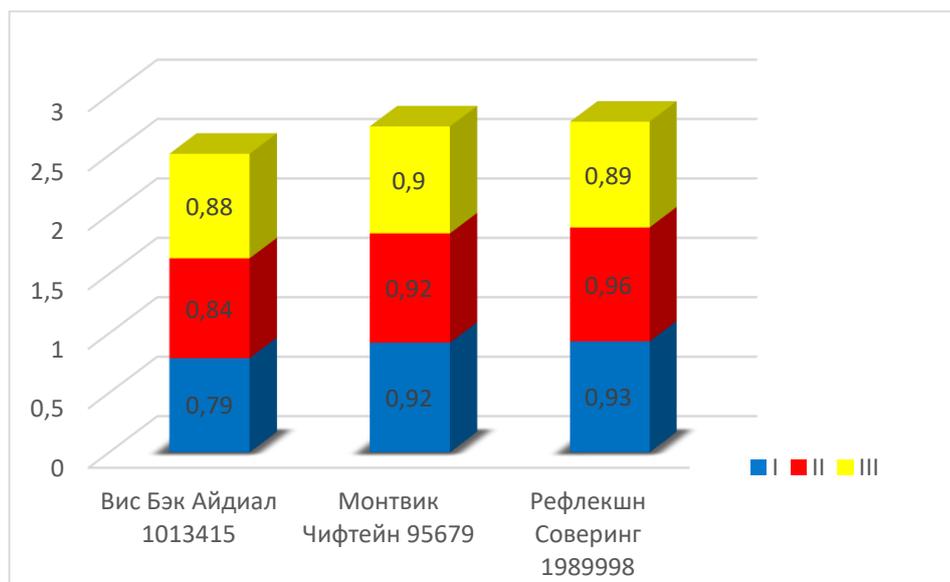


Рис. 2 – Коэффициент воспроизводительной способности у коров разных генотипов

Таким образом, при оценке воспроизводительных качеств коров голштинской породы, следует учитывать происхождение, установлено, что потомки разных линий имеют разный возраст первого отела, разную продолжительность сервис-периода после первого, второго и третьего отела. Отбор коров по молочной продуктивности ведет к накоплению позднеспелости и ухудшению показателей воспроизводительных качеств, однако этот вопрос требует дополнительных исследований с учетом оценки быков-производителей и их конкретного влияния на репродуктивную функцию дочерей.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Абылкасымов Д. Проблемы воспроизводства крупного рогатого скота в высокопродуктивных стадах / Д. Абылкасымов, Л. В.Ионова, П. С. Камынин // Зоотехния. – 2013. – №7. – С. 28-29.
2. Бакай А. И. Воспроизводительные качества племенных коров с разным уровнем кариотипической нестабильности / А. И. Бакай, К. А. Булузов // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2010. – №4. – С. 21-23.
3. Повышение воспроизводительной способности молочных коров: Учеб. пособие / А. Е. Болгов, Е. П. Карманова, И.А. Хакана и др.; под ред. А.Е. Болгова, Е.П. Кармановой. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 224 с.
4. Ваттио М. Воспроизводство крупного рогатого скота / М.Ваттио // Международный институт по исследованию и развитию молочного животноводства им. Бабкока. – 1996, т.4. – С. 142-144.

5. Методы формирования высокопродуктивных стад в молочном скотоводстве / В. И. Гудыменко, С. С. Жукова, В. В. Гудыменко и др. // Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина. – 2020. – 185 с.
6. Илялов, Д. Ф. Спектр и частота цитогенетических нарушений в соматических клетках у коров с разными показателями плодовитости : Дис. Кандидата биологических наук: 06.02.07 / Д.Ф. Илялов; ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина. - Москва, 2017. - 125 с.
7. Лепёхина, Т.В. Корреляционная связь и наследуемость основных хозяйственно-полезных признаков у коров разных генерации: Дис. Кандидата биологических наук: 06.02.07 / Т. В. Лепёхина; ФГОУ ВПО МГАВМиБ. – Москва, 2012. – 104с.
8. Мехтиева, К.С. Характеристика хозяйственно-биологических и воспроизводительных качеств коров черно-пестрой породы разных генераций: Дис. Кандидата биологических наук: 06.02.07 / К.С. Мехтиева; ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина. - Москва, 2017. - 128 с.
9. Назарченко, О.В. Взаимосвязи между хозяйственно-биологическими признаками у животных черно-пестрой породы различного происхождения Зауралья / О.В. Назарченко // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. - 2011. - Проблема. 46.- С. 57-62.
10. Перфилов А. А. Воспроизводительные способности коров в зависимости от уровня молочной продуктивности / А.А. Перфилов, Х.Б. Баймишев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2006. - № 5 (25). - С. 29-31.
11. Прокопьев В. Г. Факторы, влияющие на легкость отела коров-первотелок / В.Г. Прокопьев, Е.В. Лукашenkova // Достижения науки и техники агропромышленного комплекса. - 2009. - № 9.- С.52-54

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abylkasymov, D. Problemy vosproizvodstva krupnogo rogatogo skota v vysokoproduktivnykh stadakh [Problems of reproduction of cattle in highly productive herds]. / D. Abylkasymov, L. V. Ionova, P. S. Kamynin // Zootekhnika [Zootechnia]. – 2013.-No.7. – pp.28-29. [in Russian]
2. Bakai, A. I. Vosproizvoditelnyye kachestva plemennykh korov s raznym urovnem kariotipicheskoy nestabilnosti [Reproductive qualities of breeding cows with different levels of karyotypic instability] / A. I. Bakai, K. A. Bulusov // Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh [Problems of biology of productive animals]. – 2010. – No. 4. – pp.21-23. [in Russian]
3. Povysheniye vosproizvoditelnoy sposobnosti molochnykh korov: [Ucheb. posobiye Increasing the reproductive capacity of dairy cows:] / A. E. Bolgov, E. P. Karmanova, I. A. Khakana et al. ; Edited by A. E. Bolgova, E. P. Karmanova. – St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2010. – 224 p. [in Russian]
4. Vattio M. Vosproizvodstvo krupnogo rogatogo skota [Reproduction of cattle] / M. Vattio // Mezhdunarodnyy institut po issledovaniyu i razvitiyu molochnogo zhivotnovodstva im. Babkoka [Babcock International Institute for Research and Development of Dairy Farming]. – 1996. – vol.4. – pp.142-144.
5. Metody formirovaniya vysokoproduktivnykh stad v molochnom skotovodstve [Methods of forming highly productive herds in dairy cattle breeding] / V.I. Gudymenko, S.S. Zhukova, V.V. Gudymenko et al. // Maysky. – 2020.
6. Iyalov D. F. Spekr i chastota tsitogeneticheskikh narusheniy v somaticheskikh kletkakh u korov s raznymi pokazatelyami plodovitosti : Dis. Kandidata biologicheskikh nauk: 06.02.07 [Spectrum and frequency of cytogenetic disorders in somatic cells in cows with different fertility indicators: Dis. Candidate of Biological Sciences: 06.02.07] / D.F. Iyalov; FGBOU IN MGAVMiB – MBA named after K.I. Scriabin. – Moscow, 2017. – 125 p. [in Russian]
7. Lepekhina T. V. Lepekhina. T.V. Korrelyatsionnaya svyaz i nasleduyemost osnovnykh khozyaystvenno-poleznykh priznakov u korov raznykh generatsii: Dis. Kandidata biologicheskikh nauk: 06.02.07 [Correlation and heritability of the main economically useful traits in cows of different generations: Dis. Candidate of Biological Sciences: 06.02.07]. / T. V. Lepekhina; FGOU VPO MGAVMiB. – Moscow, 2012. – 104 p. [in Russian]
8. Mekhtieva K. S. harakteristika khozyaystvenno-biologicheskikh i vosproizvoditelnykh kachestv korov cherno-pestroy porody raznykh generatsiy: Dis. Kandidata biologicheskikh nauk: 06.02.07 [Characteristics of economic, biological and reproductive qualities of black-and-white cows of different generations: Dis. Candidate of Biological Sciences: 06.02.07] / K. S. Mekhtieva; FGBOU IN MGAVMiB – MBA named after K.I. Scriabin. – Moscow, 2017. – 128 p. [in Russian]
9. Nazarchenko O. V. Vzaimosvyazi mezhdru khozyaystvenno-biologicheskimi priznakami u zhivotnykh cherno-pestroy porody razlichnogo proiskhozhdeniya Zauralia [Interrelations between economic and biological characteristics in animals of black-and-white breeds of various origin of the Trans-Urals] / O. V. Nazarchenko // Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy]. – 2011. – Problem. 46. – pp. 57-62. [in Russian]
10. Perfilov A. A. Vosproizvoditelnyye sposobnosti korov v zavisimosti ot urovnya molochnoy produktivnosti [Reproductive abilities of cows depending on the level of milk productivity] / A.A. Perfilov, H.B. Baymishev // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. – 2006. – № 5 (25). – Pp. 29-31. [in Russian]
11. Prokopyev V. G. aktory. vliyayushchiye na legkost otela korov-pervotelok [Factors affecting the ease of calving of first-calf cows] / V. G. Prokopyev, E. V. Lukashenkova // Dostizheniya nauki i tekhniki agropromyshlennogo kompleksa [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. – 2009. – No. 9.- p.52-54. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.024>ПРОБЛЕМА СОСТАВА И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСОПАРКОВ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА
Научная статьяМикеладзе Ш.Э.¹, Бунькова Н.П.^{2,*}, Азаренок В.А.³, Михайлов Ю.Е.⁴, Фомин В.В.⁵¹ ORCID: 0000-0003-2976-4074;² ORCID: 0000-0002-7228-4693;³ ORCID: 0000-0002-5430-4259;⁴ ORCID: 0000-0003-3467-0654;⁵ ORCID: 0000-0002-9211-5627;^{1, 2, 3, 4, 5} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (bunkovanp[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

На основании анализа лесоустроительных материалов проанализированы таксационные показатели древостоев лесопарков г. Екатеринбурга. Установлено недостаточное видовое разнообразие указанных древостоев. Так, на долю сосняков приходится 74,9 % общей покрытой лесной растительностью площади. Доля березовых древостоев при этом составляет 22,7 %. Таким образом на долю древостоев всех остальных древесных пород и кустарников приходится лишь 2,4 % покрытой лесной растительностью площади. Другими словами, для увеличения биологического разнообразия и повышения рекреационной привлекательности лесных парков необходимо создание искусственных насаждений из пород интродуцентов. В качестве последних могут быть использованы формы ели колючей (*Picea pungens* Engelm.), декоративная форма ели сибирской (*Picea obovate* Ledeb.), сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.). Целесообразно будет также использовать красиво цветущие лиственные древесные и кустарниковые виды, адаптированные к региональным условиям.

Второй проблемой лесных парков является их возрастная структура. Так, сосновые насаждения представлены преимущественно спелыми древостоями (59,9 %) при очень низкой доле молодняков (1,3 %). Среди березняков доля спелых насаждений составляет 50,1 % при доле молодняков 6,1 %. Высокий возраст древостоев вызывает их повышенную пораженность корневыми и стволовыми гнилями и требует проведения ландшафтных рубок, направленных на омоложение древостоев.

Ключевые слова: лесные парки, сосняки, березняки, возрастная структура, ландшафтные рубки, омоложение, устойчивость.

**THE PROBLEM OF THE COMPOSITION AND AGE STRUCTURE OF STANDS OF FOREST PARKS
IN YEKATERINBURG**

Research article

Mikeladze Sh.E.¹, Bunkova N.P.^{2,*}, Azarenok V.A.³, Mikhaylov Yu.E.⁴, Fomin V.V.⁵¹ ORCID: 0000-0003-2976-4074;² ORCID: 0000-0002-7228-4693;³ ORCID: 0000-0002-5430-4259;⁴ ORCID: 0000-0003-3467-0654;⁵ ORCID: 0000-0002-9211-5627;^{1, 2, 3, 4, 5} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (bunkovanp[at]m.usfeu.ru)

Abstract

Based on the analysis of forest management materials, the current study analyzes the survey indicators of stands of forest parks in Yekaterinburg. The author determines insufficient species diversity of these stands. For example, pine forests account for 74.9% of the total area covered by forest vegetation. At the same time, the share of birch stands is 22.7%. Thus, stands of all other tree species and shrubs account for only 2.4% of the area covered by forest vegetation. In other words, to increase biological diversity and the recreational attractiveness of forest parks, it is necessary to create artificial plantings from introduced species. As the latter, *Picea pungens* Engelm., *Picea obovate* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour. can be used. It will also be advisable to use flowering deciduous tree and shrub species adapted to regional conditions.

The second problem of forest parks is their age structure. Pine plantations are mainly represented by mature stands (59.9%) with a very low proportion of young trees (1.3%). Among birch trees, the proportion of ripe plantings is 50.1%, with the proportion of young trees equaling 6.1%. The high age of the stands causes their increased infestation with root and stem rot and requires landscape logging aimed at rejuvenation of the stands.

Keywords: forest parks, pine forests, birch forests, age structure, landscape logging, rejuvenation, sustainability.

Введение

Улучшение качества окружающей среды, создание условий для отдыха и комфортного проживания жителей крупных мегаполисов невозможно без создания и поддержания в хорошем состоянии лесных парков [1], [2]. В то же время известно, что насаждения лесных парков испытывают интенсивное воздействие промышленных поллютантов [3] и рекреационных нагрузок [4], [5].

Накопление в почве тяжелых металлов [6] и других вредных для растений химических элементов приводит к развитию корневых гнилей [7], [8] и, в конечном счете, к потере насаждениями устойчивости и рекреационной привлекательности [9]. Не являются в этом плане исключением и лесопарки г. Екатеринбурга [10], [11], [12].

Естественно, что устойчивость и подверженность грибным заболеваниям во многом зависит от состава и возраста древостоев. Не случайно в лесопарках проводятся рубки обновления [13], рубки ухода [14] и ландшафтные рубки [15], [16], [17]. В задачу последних входит омоложение древостоев, улучшение их санитарного состояния и формирование эстетически и рекреационно привлекательных насаждений.

Цель, объекты и методика исследований

Целью исследований являлось изучение состава и возраста древостоев лесопарков г. Екатеринбурга для принятия управленческих решений по совершенствованию лесоводственных мероприятий.

Объектом исследований служили лесопарки г. Екатеринбурга, общая площадь которых составляла 12097,5 га. В данную площадь вошли 15 лесопарков: Железнодорожный, Калиновский, Карасье-Озерский, им. Лесоводов России, Мало-Истокский, Московский, Нижне-Исетский, Оброшинский, Санаторный, Уктусский, Шарташский, Шувакишский, Лесной парк культуры и отдыха им. В.В. Маяковского, Юго-Западный, Южный. При этом ширина лесопаркового пояса колеблется от 1,5 до 10–12 км с разрывами между лесопарками 2 км.

В процессе исследований на основании лесоустроительных материалов проанализирован видовой состав и возрастная структура древостоев указанных лесопарков.

Результаты и обсуждение

Выполненные исследования показали, что по данным метеостанции Уктус, расположенной в географическом центре лесопарков, климатические условия характеризуются показателями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Основные климатические характеристики лесопарков г. Екатеринбурга

Месяц	Температура воздуха, °С			Относительная влажность воздуха, %	Высота снежного покрова, см	Количество осадков, мм	Скорость ветра, м/с
	максимальная	средняя	минимальная				
Январь	5,6	–12,6	–44,6	79,0	33	27	3,0
Февраль	9,4	–11,1	–42,4	75,0	42	20	3,0
Март	17,3	–3,8	–39,2	68,0	38	21	3,0
Апрель	28,8	4,3	–21,8	60,0	5	28	3,2
Май	33,4	11,3	–13,5	58,0	-	50	2,9
Июнь	35,6	17,1	–2,3	63,0	-	75	2,7
Июль	38,8	19,0	1,5	68,0	-	90	2,3
Август	37,2	15,9	–1,0	73,0	-	73	2,4
Сентябрь	31,9	9,8	–9,0	75,0	-	58	2,7
Октябрь	24,7	3,4	–22,7	75,0	1	39	3,2
Ноябрь	13,5	–5,8	–39,7	78,0	8	33	3,1
Декабрь	5,9	–11,0	–46,7	79,0	21	27	3,2
Год	38,8	3,0	–46,7	71,0	-	541	2,9

Как следует из табл. 1, лишь в июле на территории лесопарков отсутствуют заморозки. Количество дней с температурой выше 0°С составляет 195 дней. При этом средняя продолжительность большого вегетационного периода (температура воздуха выше 5°С) составляет 156 дней, с 26 апреля по 28 сентября. Продолжительность малого вегетационного периода (среднесуточная температура воздуха выше 10°С – 113 суток, с 17 мая по 6 сентября).

Климатические условия во многом определяют бедный видовой состав насаждений лесопарков. При общей площади лесопарков 12097,5 га на лесные земли приходится 10472,3 га (86,6 %), в том числе на покрытые лесной растительностью 10253,2 га (84,8 %). Площадь нелесных земель составляет 1325,2 га (13,4 %) и варьируется от 3,2 % в Московском лесопарке, до 13,2 % в лесопарке им. Лесоводов России. Не лесные земли представлены пашнями 0,1 %, сенокосами 0,2 %, озерами и прудами 0,9 %, дорогами 1,7 %, тропами 0,1 %, просеками 0,7 %, ландшафтными полянами 2,8 %, усадьбами и кордонами 0,1 %, болотами 4,9 %, линейными объектами 1,5 %, спортивными площадками 0,1 %, парковыми сооружениями 0,2 %, прочими землями 0,1 %. На долю рек, ручьев, а также садов, огородов и карьеров приходится в общей сложности 7,8 га площади лесопарков.

В лесопарках абсолютно преобладают сосновые и березовые насаждения (табл. 2).

Таблица 2 – Распределение покрытых лесной растительностью земель лесных парков г. Екатеринбурга по древесным породам и группам возраста

Порода	Ед. изм.	Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные		Итого
					всего	в том числе перестойные	
Сосна	га	97,6	1500,2	1477,9	4600,3	911,7	7676,0
	%	1,3	19,5	19,3	59,9	11,9	100
Другие хвойные	га	7,5	21,9	-	4,1	-	33,5
	%	22,4	65,4	-	12,2	-	100
Итого хвойных	га	105,1	1522,1	1477,9	4604,4	911,7	7709,5
	%	1,4	19,7	19,2	59,7	11,8	100
Дуб	га	1,6	1,3	0,8	-	-	3,7
	%	43,3	35,1	21,6	-	-	100
Другие твердолиственные	га	1,7	17,5	-	-	-	19,2
	%	8,9	91,1	-	-	-	100
Итого твердолиственные	га	3,3	18,8	0,8	-	-	22,9
	%	14,4	82,1	3,5	-	-	100
Береза	га	142,0	651,5	366,9	1165,0	225,8	2325,8
	%	6,1	28,0	15,8	50,1	9,7	100
Другие мягколиственные	га	71,5	30,4	20,4	60,1	1,5	182,4
	%	39,2	16,7	11,2	32,9	0,8	100
Итого мягколиственные	га	213,5	682,3	387,3	1225,1	227,3	2508,2
	%	8,5	27,2	15,5	48,8	9,1	100
Яблоня, рябина, черемуха	га	1,5	0,8	-	-	-	2,3
	%	65,2	34,8	-	-	-	100
Кустарники	га	0,3	0,3	-	9,7	9,6	10,3
	%	2,9	2,9	-	94,2	93,2	100
Всего	га	323,7	2224,3	1866,0	5839,2	1148,6	10253,2
	%	3,1	21,7	18,2	57,0	11,2	100

Материалы таблицы 2 свидетельствуют, что насаждения лесных парков характеризуются низким видовым разнообразием древостоев. В общей покрытой лесной растительностью площади абсолютно доминируют сосняки, на долю которых приходится 74,9 % и березняки – 22,7 %. При этом на все остальные древесные породы и кустарники приходится лишь 2,4 % покрытой лесной растительностью площади. Так, в частности, хвойные породы, такие как ель, занимают 6,7 га, сосна сибирская – 1,0 га и лиственница Сукачева – 25,8 га, что явно недостаточно при общей покрытой лесной растительностью площади 10253,2 га.

Аналогичная картина зафиксирована и при анализе лиственных древостоев. Указанное свидетельствует о необходимости проведения искусственного лесовосстановления на не покрытых лесной растительностью площадях с целью увеличения таких адаптированных к местным условиям хвойных пород как ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) [18], декоративная форма ели сибирской (*P. obovate* Ledeb.) [19], сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.) [20]. Целесообразно также создание насаждений из красиво цветущих лиственных древесных и кустарниковых видов.

Введение древесных интродуцентов возможно также при проведении ландшафтных рубок. Известно [10], [11], [12], что сосновые и березовые древостои лесных парков г. Екатеринбурга в значительной степени поражены корневыми и стволовыми гнилями. Последнему во многом способствует высокий возраст древостоев. Так, на долю спелых и перестойных сосняков приходится 59,9 % их общей площади. При этом на долю молодняков первых двух классов возраста приходится лишь 1,3 %. Близкая картина зафиксирована и в березняках. Доля спелых и перестойных березняков составляет 50,1 % при доле молодняков 6,1 %.

Особенно печальная картина наблюдается среди кустарников. Доля перестойных ивняков составляет 93,2 %. Указанное свидетельствует о низкой устойчивости ивняков и объясняет поражение их гнилевыми болезнями [21].

Изменение возрастной структуры древостоев возможно лишь за счет ландшафтных рубок с основным направлением, направленным на омоложение древостоев. При проведении ландшафтных рубок первоочередному удалению подлежат перестойные деревья с посадкой на их месте молодых деревьев местных или интродуцированных видов.

Выводы

1. Город Екатеринбург характеризуется значительной площадью лесных парков. Данные парки образованы на основе естественных насаждений и характеризуются низким разнообразием древостоев.

2. Основной древесной породой лесных парков является сосна обыкновенная, на долю насаждений с доминированием которой приходится 74,9 % покрытой лесной растительностью площади.

3. Доля березняков составляет 22,7 %, а на насаждения других древесных пород и кустарника приходится лишь 2,4 %. Последнее вызывает необходимость расширения ассортимента при создании искусственных насаждений.

4. Большие опасения, в плане сохранения насаждениями устойчивости, вызывает высокая доля спелых и перестойных насаждений. Среди сосняков таких насаждений 59,9 %, березняков 50,1 %, кустарников 94,2 %. При этом на долю молодняков указанных пород приходится 1,3; 6,1 и 2,9 %, соответственно.

5. С целью омоложения насаждений лесных парков необходимо проводить ландшафтные рубки, в ходе которых главной задачей следует считать омоложение древостоев.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Астратова Г.А. Качество жизни: Проблемы и перспективы XXI века / Г.А. Астратова, А.В. Мехренцев, М.И. Хрущева и др. – Екатеринбург: Изд-во ГК «Стратегия позитива™», 2013. 532 с.
2. Силин Я.П. Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке: экономические модели, новые технологии и практики управления / Я.П. Силин, Г.В. Астратова и др.: под ред. Я.П. Силина, Г.А. Астратовой. М. – Екатеринбург: изд. центр «Науковедение». 2017. 600 с.
3. Залесов С.В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» и реакция их компонентов на проведение рубок обновления / С.В. Залесов, А.В. Бачурина, С.В. Бачурина. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://elag.usfeu.ru/handle/123456789/6620>. (дата обращения: 12.02.2022)
4. Данчева А.В. Влияние рекреационных нагрузок на состояние и устойчивость сосновых насаждений Казахского мелкосопочника / А.В. Данчева, С.В. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 195 с.
5. Бунькова Н.П. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарках г. Екатеринбурга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 124 с.
6. Залесов С.В. Содержание тяжелых металлов в почве городских лесопарков г. Екатеринбурга / С.В. Залесов, Е.В. Колтунов // Аграрный вестник Урала. 2009. № 6 (60). С. 71-72.
7. Залесов С.В. Основные факторы пораженности сосны корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках / С.В. Залесов, Е.В. Колтунов, Р.Н. Лапшевцев // Защита и карантин растений. 2008. № 2. С. 56-58.
8. Ставищенко И.В. Флора и фауна природного парка «Самаровский чугас». Ксилотрофные базидиальные грибы. / И.В. Ставищенко, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. 104 с.
9. Залесов С.В. Ценопопуляции лесных и луговых видов растений в антропогенно нарушенных ассоциациях Нижегородского Поволжья и Поветлужья / С.В. Залесов, Е.В. Невидомова, А.М. Невидомов и др. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. 204 с.
10. Залесов С.В. Корневые и стволовые гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Нижне-Исетском лесопарке г. Екатеринбурга / С.В. Залесов, Е.В. Колтунов // Аграрный вестник Урала, 2009. № 1 (55). С. 73-75.
11. Колтунов Е.В. Корневая и стволовая гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в городских лесопарках г. Екатеринбурга / Е.В. Колтунов, С.В. Залесов, Р.Н. Лапшевцев // Леса Урала и хозяйство в них. 2007. № 29. С. 247-262.
12. Колтунов Е.В. Корневые и стволовые гнили и состояние древостоев Шарташского лесопарка г. Екатеринбурга в условиях различной рекреационной нагрузки / Е.В. Колтунов, С.В. Залесов, А.Ю. Демчук // Аграрный вестник Урала. 2011. № 8 (87). С. 43-46.
13. Залесов С.В. Состояние сосновых насаждений после первого приема рубок обновления / С.В. Залесов, А.В. Бачурина, С.В. Бачурина // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2015. № 1 (33). С. 105-109.
14. Данчева А.В. Влияние рубок ухода на биологическую и пожарную устойчивость сосновых древостоев / А.В. Данчева, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2016. № 3 (145). С. 56-61.
15. Луганский Н.А. Ландшафтные рубки / Н.А. Луганский, Л.И. Аткина, Е.С. Гневнов, С.В. Залесов, В.Н. Луганский // Лесное хозяйство, 2007. № 6. С. 20-22.
16. Залесов С.В. Состояние и перспективы ландшафтных рубок в рекреационных лесах / С.В. Залесов, Р.А. Газизов, А.Ф. Хайретдинов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (58). С. 45-47.
17. Залесов С.В. Ландшафтные рубки в лесопарках / С.В. Залесов, А.Ф. Хайретдинов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 176 с.
18. Соловьева М.В. Перспективность сортов ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) для озеленения северных городов / М.В. Соловьева, С.В. Залесов, Е.С. Залесова и др. // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2019. № 2 (55). С. 121-129. DOI: 10.34655/bgsha.2019.55.2.017.
19. Оплетаев А.С. Новая декоративная форма ели сибирской (*Picea obovate* Ledeb.) / А.С. Оплетаев, С.В. Залесов, А.П. Кожевников // Аграрный вестник Урала, 2016. № 6 (148). С. 40-44.
20. Воробьева М.В. Использование сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Roi) в озеленении г. Екатеринбурга / М.В. Воробьева, Е.В. Жигулин, С.В. Залесов и др. // Международный научно-исследовательский журнал, 2021. № 7 (109). Ч. 1. С. 132-136. DOI: 10.23670/IRJ.2021.109.7.022
21. Колтунов Е.В. Состояние и пораженность гнилевыми болезнями прирусловых насаждений ивы ломкой (*Salix fragilis* Z.) в условиях урбанизации / Е.В. Колтунов, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2013. № 7 (113). С. 40-41.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Astratova G.A. Kachestvo zhizni: Problemy i perspektivy XXI ve-ka [Quality of Life: Problems and Prospects of the 21st Century] / G.A. Astratova, A.V. Mekhrencev, M.I. Hrushcheva et al. – Ekaterinburg: Publishing house GK «Strategiya pozitivnaTM», 2013. 532 p. [in Russian]
2. Silin YA.P. ZHilishchno-kommunal'noe hozyajstvo i kachestvo zhizni v XXI veke: ekonomicheskie modeli, novye tekhnologii i praktiki upravleniya [Housing and Communal Services and Quality of Life in the 21st Century: Economic Models, New Technologies and Management Practices] / YA.P. Silin, G.V. Astratova et al.: ed. by YA.P. Silina, G.A. Astratovoj. M. – Ekaterinburg: Publishing center «Naukovedenie». 2017. 600 p. [in Russian]
3. Zalesov S.V. Sostoyanie lesnyh nasazhdenij, podverzhennyh vliya-niyu promyshlennyh pollyutantov ZAO «Karabashmed» i reakciya ih kom-ponentov na provedenie rubok obnovleniya [The state of forest plantations affected by industrial pollutants of Karabashmed CJSC and the reaction of their components to renewal felling] / S.V. Zalesov, A.V. Bachurina, S.V. Bachurina. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2017. – [Electronic resource]. – URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620>. (дата обращения: 12.02.2022) [in Russian]
4. Dancheva A.V. Vliyanie rekreacionnyh nagruzok na sostoyanie i ustojchivost' sosnovykh nasazhdenij Kazahskogo melkosopochnika [Influence of recreational loads on the state and stability of pine plantations of the Kazakh uplands] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2014. 195 p.
5. Bun'kova N.P. Rekreacionnaya ustojchivost' i emkost' sosnovykh nasazhdenij v lesoparkah g. Ekaterinburga [Recreational sustainability and capacity of pine plantations in the forest parks of Yekaterinburg] / N.P. Bun'kova, S.V. Zalesov. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2016. 124 p. [in Russian]
6. Zalesov S.V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochve gorodskih le-soparkov g. Ekaterinburga [The content of heavy metals in the soil of urban forest parks in Yekaterinburg] / S.V. Zalesov, E.V. Koltunov // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2009. № 6 (60). P. 71-72. [in Russian]
7. Zalesov S.V. Osnovnye faktory porazhennosti sosny kornevymi i stvolovymi gnilyami v gorodskih lesoparkah [The main factors of pine damage by root and stem rot in urban forest parks] / S.V. Zalesov, E.V. Koltunov, R.N. Lapshevcev // Zashchita i karantin rastenij [Protection and quarantine of plants]. 2008. № 2. P. 56-58. [in Russian]
8. Stavishenko I.V. Flora i fauna prirodnoho parka «Samarovskij chugas». Ksilotrofnye bazidial'nye griby. [Flora and fauna of the Samarovsky Chugas Natural Park. Xylotrophic basidiomycetes] / I.V. Stavishenko, S.V. Za-lesov. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2008. 104 p. [in Russian]
9. Zalesov S.V. Cenopopulyacii lesnyh i lugovykh vidov rastenij v antropogenno narushennykh asociacijah Nizhegorodskogo Povolzh'ya i Po-vetluzh'ya [Cenopopulations of forest and meadow plant species in anthropogenically disturbed associations of the Nizhny Novgorod Volga and Povetluzhye regions] / S.V. Zalesov, E.V. Nevidomova, A.M. Nevidomov, N.V. Sobolev. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2013. 204 p. [in Russian]
10. Zalesov S.V. Kornevye i stvolovye gnili sosny obyknovvennoj (Pinus sylvestris L.) i berezy povisloj (Betula pendula Roth.) v Nizhne-Isetskom lesoparke g. Ekaterinburga [Root and stem rots of Scotch pine (Pinus sylvestris L.) and drooping birch (Betula pendula Roth.) in the Nizhne-Isetsy forest park of Yekaterinburg] / S.V. Zalesov, E.V. Koltunov // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2009. № 1 (55). P. 73-75. [in Russian]
11. Koltunov E.V. Kornevaya i stvolovaya gnili sosny obyknovvennoj (Pinus silvestris L.) v gorodskih lesoparkah g. Ekaterinburga [Root and stem rot of Scotch pine (Pinus silvestris L.) in urban forest parks of Yekaterinburg] / E.V. Koltunov, S.V. Zalesov, R.N. Lapshevcev // Lesa Urala i hozyajstvo v nih [Forests of the Urals and the economy in them]. 2007. № 29. P. 247-262. [in Russian]
12. Koltunov E.V. Kornevye i stvolovye gnili i sostoyanie drevo-stoev SHartashskogo lesoparka g. Ekaterinburga v usloviyah razlichnoj re-kreacionnoj nagruzki [Root and stem rot and the state of forest stands of the Shartashsky forest park in Yekaterinburg under conditions of various recreational loads] / E.V. Koltunov, S.V. Zalesov, A.YU. Demchuk // Ag-rarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2011. № 8 (87). P. 43-46. [in Russian]
13. Zalesov S.V. Sostoyanie sosnovykh nasazhdenij posle pervogo pri-ema rubok obnovleniya [The state of pine plantations after the first reception of fellings] / S.V. Zalesov, A.V. Bachurina, S.V. Bachurina // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University]. 2015. № 1 (33). P. 105-109. [in Russian]
14. Dancheva A.V. Vliyanie rubok uhoda na biologicheskuyu i pozhar-nuyu ustojchivost' sosnovykh drevostoev [Influence of thinnings on the biological and fire resistance of pine stands] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2016. № 3 (145). P. 56-61. [in Russian]
15. Luganskij N.A. Landshaftnye rubki [landscape felling] / N.A. Luganskij, L.I. Atkina, E.S. Gnevnov, S.V. Zalesov, V.N. Luganskij // Lesnoe hozyajstvo [Forestry], 2007. № 6. P. 20-22. [in Russian]
16. Zalesov S.V. Sostoyanie i perspektivy landshaftnykh rubok v re-kreacionnykh lesah [State and prospects of landscape felling in recreational forests] / S.V. Zalesov, R.A. Gazizov, A.F. Hajretdinov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]. 2016. № 2 (58). P. 45-47. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.025>

ОЦЕНКА БЫКОВ ПО ЭНЕРГИИ РОСТА СЫНОВЕЙ

Научная статья

Мухтарова О.М. *

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина,
Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (o.m.muhtarova[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье рассмотрена динамика живой массы бычков-сыновей, телок и коров-дочерей; интенсивность роста бычков, телок. Проведена оценка быков по энергии роста бычков-сыновей и молочной продуктивности дочерей.

В зависимости от генетического происхождения животные Московской области сформировали в шесть групп: I – российская селекция, II – животные завезенные из стран СНГ, III – французская селекция, IV – немецкая селекция, V – канадская селекция, VI – животные американской селекции.

При изучении скорости роста за возрастные периоды установили определенные различия по живой массе бычков. Бычки от голштинских производителей немецкой, канадской и американской селекции достоверно ($P \geq 0,99$) превосходили все другие группы по живой массе в 12-месячном возрасте. Наиболее высокая вариабельность живой массы молодняка была в возрасте 3 месяцев, в дальнейшем происходило некоторое ее снижение. Анализ данных показал, что интенсивность роста бычков в отдельные периоды развития была неодинаковой.

Ключевые слова: быки, энергия роста, коровы-дочери, живая масса, индекс племенной ценности.

EVALUATION OF BULLS BY THE ENERGY OF GROWTH IN SONS

Research article

Mukhtarova O.M.*

ORCID: 0000-0002-1207-2736,

Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russia

* Corresponding author (o.m.muhtarova[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines the dynamics of the live weight of bull calves, heifers and cow daughters; the intensity of growth of bulls, heifers. The bulls were evaluated according to the growth energy of the bull-sons and the milk productivity of the daughters.

Depending on the genetic origin, the animals of the Moscow region were formed into six groups: I - Russian selection, II - animals imported from the CIS countries, III - French selection, IV - German selection, V - Canadian selection, VI - American selection.

When studying the growth rate over age periods, certain differences were found in the live weight of bulls. Bulls from Holstein producers of German, Canadian and American breeding significantly ($P \geq 0.99$) outperformed all other groups in live weight at 12 months of age. The highest variability of the live weight of young animals was at the age of 3 months, later a decrease was observed. The analysis of the data showed that the intensity of the growth of bulls in certain periods of development was not the same.

Keywords: bulls, growth energy, daughter cows, live weight, breeding value index.

Введение

Повышение уровня производства молока у крупного рогатого скота – одна из основных целей направленной селекции, в свою очередь всесторонняя оценка быков-производителей – неотъемлемая часть селекционно-племенной работы со стадами молочного скота. [2], [5].

Оценка племенных быков молочных пород по энергии роста широко проводят в Швеции, Финляндии и других странах [10]. В нашей стране пока еще недостаточно уделяется внимания оценке быков по этому показателю [3]. Между тем установлено, что между интенсивностью роста бычков и молочной продуктивностью их сестер по отцам имеется достоверная положительная корреляция [1], [7].

В условиях интенсификации скотоводства в нашей стране и массовой глобализации, использование племенных ресурсов зарубежной селекции – важный селекционный метод. Однако, оценка животных одной породы, но различной селекции еще недостаточно распространена [8]. В результате повышения молочной продуктивности у скота Московской области сложилась определенная генетическая структура стад, которая позволяет вести работу по созданию и выведению высокопродуктивных типов, стад, линий и отдельных животных [4].

Безусловно, в настоящее время при работе со стадами молочного скота применяется комплексная оценка животных (по происхождению, экстерьеру, конституции, продуктивности и качеству потомства). Но эта оценка возможна лишь при достижении ими определенного возраста. Вопрос же о дальнейшем использовании животного решается в раннем возрасте [6], [9].

В настоящее время ищутся возможности более ранней оценки быков по качеству потомства. Одним из признаков является энергия роста животных, ее связь с последующей молочной продуктивностью потомства.

Цель исследования - оценить быков различного происхождения (разной селекции) по энергии роста их сыновей и молочной продуктивности их дочерей.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

- изучить скорость роста у бычков разного происхождения;
- оценить молочную продуктивность и живую массу в различные возрастные периоды у коров-дочерей изучаемых быков;

- рассчитать индекс племенной ценности у сыновей быков различного происхождения;
- оценить племенную ценность быков различного происхождения по молочной продуктивности их дочерей

Для достижения поставленной цели и решения задач использовали общепринятые зоотехнические и статистические методы исследований. Полученный числовой материал статистически обработан с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Исследования были проведены на животных голштинской породы в различных хозяйствах Московской области.

В зависимости от генетического происхождения животные Московской области сформировали в шесть групп (таблица 1).

Таблица 1 – Контрольное поголовье животных голштинской породы различного происхождения Московской области

Происхождение отцов	Группа	Число отцов	Число бычков-сыновей	Число отцов	Число дочерей – сестер по отцу
Российская селекция	I	9	373	4	63
Завезенные из стран СНГ	II	14	545	6	63
Французская селекция	III	8	366	5	70
Немецкая селекция	IV	3	132	3	43
Канадская селекция	V	6	332	5	93
Американская селекция	VI	11	752	7	202

В пределах каждой группы изучили динамику живой массы бычков-сыновей, телок и коров-дочерей; интенсивность роста бычков, телок, оценили быков по энергии роста бычков-сыновей и молочной продуктивности дочерей.

При изучении скорости роста за возрастные периоды установили определенные различия по живой массе бычков (таблица 2). Бычки от голштинских производителей немецкой, канадской и американской селекции достоверно ($P \geq 0,99$) превосходили все другие группы по живой массе в 12-месячном возрасте. Наиболее высокая вариабельность живой массы молодняка была в возрасте 3 месяцев, в дальнейшем происходило некоторое ее снижение. Анализ данных таблицы 2 показал, что интенсивность роста бычков в отдельные периоды развития была неодинаковой.

Таблица 2 – Живая масса (кг) и абсолютная скорость роста у бычков различного происхождения

Группа	Живая масса (кг) в возрасте (мес)				Среднесуточный прирост (г) в возрастные периоды (мес)					
	3	6	9	12	0-3	0-12	3-6	6-9	6-12	9-12
I	112±12,0	199±10,2	278±8,5	358±7,9	888	895	956	857	871	882
II	110±12,8	199±11,0	273±9,3	351±8,7	859	875	958	931	842	852
III	113±10,9	200±10,0	276±9,1	353±6,6	898	883	957	824	839	851
IV	116±10,9	213±8,6	291±7,9	372±8,0	924	933	1070	849	869	883
V	117±11,2	210±8,8	290±7,8	372±7,4	931	931	1027	870	883	898
VI	116±10,9	208±8,6	285±8,5	364±8,2	925	911	1014	839	854	869

Абсолютная скорость роста бычков от рождения до 3-месячного возраста колебалась от 859 г у сыновей – потомков быков, завезенных из стран СНГ, до 931 г у бычков от голштинских быков Канады. Постепенно скорость роста увеличивалась. Период максимального роста отмечен в возрасте от 3 до 6 мес: от 956 г у сыновей отечественных быков до 1070 г у голштинских быков из Германии. В дальнейшем было заметное снижение абсолютной скорости роста во всех группах.

В условиях стабильного и полноценного уровня кормления обеспечивается получение высоких показателей по интенсивности роста телок и молочной продуктивности дочерей (таблица 3). Анализ таблицы 3 показал, что животные разного генетического происхождения имеют различия как по живой массе, так и по молочной продуктивности.

Таблица 3 – Живая масса телок и молочная продуктивность коров за I лактацию

Группа	Живая масса (кг) в возрасте (мес)			n	Продуктивность	
	10	12	18		Удой (кг)	МДЖ (%)
I	274±7,5	315±6,7	445±9,2	249	8785	3,90
II	278±6,4	319±6,8	440±6,8	207	8853	3,94
III	272±6,8	311±6,1	431±7,3	124	9025	3,94
IV	283±5,6	323±6,1	453±6,3	62	8762	3,92
V	289±6,9	332±4,9	455±6,8	126	9400	3,95
VI	278±6,6	327±7,0	452±7,1	332	9265	3,95

Для выявления связей между энергией роста бычков и молочной продуктивностью их сестер по отцам мы оценили 51 быка голштинской породы различного происхождения по энергии роста сыновей, в том числе 30 быков по молочной продуктивности дочерей. При оценке быков по энергии роста бычков-сыновей определили индексы племенной ценности по данному признаку в различные возрастные периоды (таблица 4).

Таблица 4 – Племенная ценность быков различного происхождения по энергии роста их сыновей

Группа	Индекс племенной ценности в возрастные периоды				
	При рождении	3 мес	6 мес	9 мес	12 мес
I	99,83	99,43	99,06	99,59	99,84
II	99,64	98,25	98,34	98,65	98,77
III	99,51	99,80	99,83	99,55	99,42
IV	99,96	100,53	101,39	101,38	101,37
V	100,64	101,28	101,55	101,55	101,57
VI	100,41	101,18	101,31	100,96	100,77

Между группами быков различного происхождения значения индекса у бычков в возрасте 12 месяцев колебались от 98,77 у бычков II группы до 101,57 у животных V группы. Следует отметить, что во все возрастные периоды индекс племенной ценности по энергии роста сыновей был наиболее высоким у голштинских производителей канадской и немецкой селекции.

Удой коров – дочерей проверяемых быков в среднем составил 9042 кг молока жирностью 3,93% (таблица 5).

Таблица 5 – Племенная ценность быков различного происхождения по молочной продуктивности их дочерей

Группа	I лактация		± к сверстницам		ИПЦ
	Удой (кг)	МДЖ (%)	Удой (кг)	МДЖ (%)	
I	8785	3,90	+137	-0,01	102,28
II	8853	3,94	+36	-0,03	100,57
III	9025	3,94	+176	+0,03	102,68
IV	8762	3,92	-126	0	98,27
V	9400	3,95	+555	+0,03	108,45
VI	9265	3,95	+444	+0,04	107,32

В зависимости от происхождения отцов племенная ценность проверяемых быков была различной. Значительный улучшающий эффект по удою при сравнении со сверстниками получен от голштинских быков Канады (+555 кг) и США (+444 кг). По содержанию жира в молоке в этих же группах установлено превосходство на 0,03-0,04%, или на 24 и 20 кг молочного жира соответственно. От дочерей импортных быков из Германии получено за I лактацию на 126 кг молока меньше, чем от сверстниц, при равной жирномолочности.

Индекс племенной ценности по удою дочерей в среднем составил 102,3 с колебаниями от 98,2 у быков Германии до 108,45 и 107,32 у производителей Канады и США.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Оценка и совершенствование заводских семейств в молочном скотоводстве / Н. С. Баранова, А. В. Баранов, М. А. Глущенко и др. – Караваево: Костромская ГСХА, 2018. – 110 с.
2. Разведение скота голштинской породы на территории Российской Федерации / И. М. Дунин, С. Е. Тяпугин, Р. К. Мещеряков и др. // Зоотехния. – 2020. - №2. – С. 5-8
3. Лабинов В. В. Модернизация черно-пестрой породы крупного рогатого скота в России на основе использования генофонда голштинов / В. В. Лабинов, П. Н. Прохоренко // Молочное и мясное скотоводство. – 2015. – №1. – С. 8-10.
4. Любимов А.И. Влияние инбридинга на племенную ценность и реализацию генетического потенциала быков-производителей / А. И. Любимов, Ю.В. Исупова, В. М. Юдин //Зоотехния. – 2016. - №8. – С. 2-4.
5. Ляшенко В. В. Молочная продуктивность и качество молока голштинских коров-первотелок разной селекции / В. В. Ляшенко, И. В. Ситникова // Зоотехния. – 2013. - №9. – С. 18-19.
6. Мысик А. Т. Состояние животноводства и инновационные пути его развития / А. Т. Мысик // Зоотехния. – 2017. – №1. – С.2-9.
7. Попов Н. А. Отбор быков-производителей для стада голштинской породы / Н. Попов, В. Иванов, З. Миоц // Главный зоотехник. – 2017. – №9. – С.16-23.
8. Прохоренко П. Голштинская порода и ее влияние на генетический прогресс продуктивности черно-пестрого скота европейских стран и Российской Федерации / П. Прохоренко // Молочное и мясное скотоводство. – 2015. – №2. – С. 2-7.
9. Прудов, А.И. Разведение по линиям – надежный путь совершенствования пород / Прудов А.И., Дунин И.М., Привалихин Г.М. // Животноводство. – 1984. – №10. – С. 34-35.
10. Смирнов В. Н. Влияние инбридинга на продуктивные и воспроизводительные качества коров / В. Н. Смирнов, О. В. Руденко // Зоотехния. – 2008. – №8. – С. 3-5.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Baranova N.S. Ocenka i sovershenstvovanie zavodskikh semejstv v molochnom skotovodstve [Evaluation and improvement of factory families in dairy cattle breeding] / N.S. Baranova, A.V. Baranov, M.A. Glushchenko, et al. - Karavaevo: Kostroma State Agricultural Academy, 2018. - 110 p. [in Russian]
2. Dunin I.M. Razvedenie skota golshtinskoy porody na territorii Rossijskoj Federacii [Breeding of Holstein cattle on the territory of the Russian Federation] / I.M. Dunin, S.E. Tyapugin, R.K. Meshcheryakov, et al. // Zootekhnika [Zootechnics]. - 2020. - No. 2. - p. 5-8 [in Russian]
3. Labinov V.V. Modernizacija cherno-pestrojj porody krupnogo rogatogo skota v Rossii na osnove ispol'zovanija genofonda golshtinov [Modernization of the Black-and-White Breed of Cattle in Russia Based on the Use of the Holstein Gene Pool] / V.V. Labinov, P.N. Prokhorenko // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo [Dairy and Meat Cattle Breeding]. – 2015. – № 1. – pp. 8–10 [in Russian]
4. Lyubimov A.I. Vlijanie inbridinga na plemennuju cennost' i realizaciju geneticheskogo potenciala bykov-proizvoditelec [The influence of inbreeding on the breeding value and the realization of the genetic potential of producing bulls] / A.I. Lyubimov, Yu.V. Isupova, V.M. Yudin // Zootekhnika [Zootechnics]. - 2016. - No. 8. - p. 2-4 [in Russian]
5. Lyashenko V.V. Molochnaja produktivnost' i kachestvo moloka golshtinskikh korov-pervotelok raznojj selekcii [Dairy productivity and milk quality of Holstein cows-first-heifers of different selection] / V.V. Lyashenko, I.V. Sitnikova // Zootekhnika [Zootechnics]. - 2013. - No. 9. - pp. 18-19 [in Russian]
6. Mysik A.T. Sostojanie zhivotnovodstva i innovacionnye puti ego razvitija [The state of animal husbandry and innovative ways of its development] / A.T. Mysik // Zootekhnika [Zootechnics]. - 2017. - No.1. - pp. 2-9 [in Russian]
7. Popov N.A. Otkor bykov-proizvoditelej dlja stada golshtinskoy porody [Selection of breeding bulls for the herd of the Holstein breed] / N.Popov, V.Ivanov, Z.Miyuts // Glavnyj zootekhnik [Chief zootechnician]. - 2017. - No. 9. - pp.16-23 [in Russian]
8. Prokhorenko P. Golshtinskaja poroda i ee vlijanie na geneticheskij progress produktivnosti cherno-pestrogo skota evropejskikh stran i Rossijskoj Federacii [The Holstein breed and its influence on the genetic progress of productivity of black-and-white cattle of European countries and the Russian Federation] / P. Prokhorenko // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo [Dairy and beef cattle breeding]. - 2015. - No.2. - pp.2-7 [in Russian]
9. Prudov, A.I. Razvedenie po linijam – nadezhnyj put' sovershenstvovanija porod [Breeding along lines is a reliable way to improve breeds] / Prudov A.I., Dunin I.M., Privalikhin G.M. // Zhivotnovodstvo [Animal Husbandry]. - 1984. - No. 10. - p.34-35 [in Russian]
10. Smirnov V.N. Vlijanie inbridinga na produktivnye i vosproizvoditel'nye kachestva korov [Influence of inbreeding on productive and reproductive qualities of cows] / V.N. Smirnov, O.V. Rudenko //Zootekhnika [Zootechnics]. - 2008. - No. 8. - p. 3-5 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.026>**ОЦЕНКА СОРТОВ БАТАТА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ**

Научная статья

Остонакулов Т.Э.^{1,*}, Шамсиев А.А.², Амантурдиев И.Х.³, Турсунов Г.С.⁴¹ Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан;¹ Самаркандская научно-опытная станция Научно-исследовательский институт овощей, бахчевых культур и картофеля, Самарканд, Узбекистан;^{2,3,4} Самаркандский филиал Ташкентского государственного аграрного университета, Самарканд, Узбекистан

* Корреспондирующий автор (t-ostonakulov[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы установления возможности возделывания нетрадиционных культур батата в регионе. По результатам выделены исходный материалы, привлечения их в селекционной работе и выведены высокоурожайные, скороспелые, адаптивные сорта – Сочакинур, Тойлоки, Филиал, которую включен Госреестр. Широкое возделывание выделенных сортов в основной культуре 20-30 апреля по схеме размножения 70x25x1 и 90x20x1 см путём мульчирования с плёнкой, поддержание в период вегетации растений режима орошения по предполевой влажности почвы не ниже 70-80% ППВ и внесение удобрений в норме N₂₀₀P₁₆₀K₁₀₀ кг/га способствует получению высокого урожая (50 т/га и выше) с хорошими товарными качествами. А в повторной культуре высадки рассады 20-30 июня обеспечивает возможности получения урожая в пределах 35-40 т/га.

Ключевые слова: сорта батата, сроки высадки рассады, режим орошения, мульчирование почвы, густота высадки рассады, рост растений, вегетационный период, площадь листовой поверхности, ботвы, товарный урожай.

EVALUATION OF SWEET POTATO VARIETIES AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THEIR CULTIVATION IN UZBEKISTAN

Research article

Ostonakulov T.E.^{1,*}, Shamsiev A.A.², Amanturdiyev I.Kh.³, Tursunov G.S.⁴¹ Karshinsky state university, Karshi, Uzbekistan;¹ Samarkand Research and Experimental Station Research Institute of Vegetables, Gourds and Potatoes (NIOBKIK, Samarkand, Uzbekistan;^{2,3,4} Samarkand branch of Tashkent State Agrarian University, Samarkand, Uzbekistan

* Corresponding author (t-ostonakulov[at]mail.ru)

Abstract

The article discusses the issues of establishing the possibility of cultivating non-traditional sweet potato crops in the region under study. According to the results, the study selected source materials and involved them in breeding work and high-yielding, precocious, adaptive varieties were bred - Sochakinur, Toyloki, Branch, which included the State Register. Widespread cultivation of selected varieties in the main crop on April 20-30 according to the propagation scheme of 70x25x1 and 90x20x1 cm by mulching with a film, maintenance of irrigation regime during the growing season of plants for pre-sowing soil moisture not lower than 70-80% of maximum permissible soil humidity and fertilization at a rate of N₂₀₀ P₁₆₀ K₁₀₀ kg/ha contributes to a high yield (50 t/ha and above) with good marketable qualities. In the repeated culture of planting seedlings on June 20-30, it provides the possibility of obtaining a harvest in the range of 35-40 t/ha.

Keywords: sweet potato varieties, seedling planting dates, irrigation regime, soil mulching, seedling planting density, plant growth, vegetation period, leaf surface area, tops, commercial yield.

Введение

Батат или сладкий картофель (*Ipomea batatas Lam.*) является важной культурой среди клубнеплодов. Он широко распространён в Китае, Японии, Индии, США, Корею и европейских странах как продовольственная, техническая и кормовая культура [4], [5], [18], [19]. Сладкий картофель - одна из новых пищевых культур для Узбекистана. У батата насчитываются свыше 400 видов, из них возделывает один вид *I.batatas*. Батат - растение многолетнее, тропическое [10], [11], [14]. Поэтому в сухом, жарком климате Узбекистана батат возделывают как однолетнюю культуру – рассадным методом [16], [17]. Его высокая адаптивность к почвенно-климатическим условиям, продуктивность и легкость размножения проявляют большой интерес у фермеров [3], [9], [11], [15].

Цель исследований - всесторонняя оценка сортообразцов сладкого картофеля в условиях Самаркандской области Узбекистана по скороспелости, росту, интенсивному размножению, темп накопления урожая, компактности клубней в гнезде, показатели продуктивности, урожайности, пригодности для основной и повторной культуры, сохраняемости клубней и в итоге выделение из них перспективных, а также разработка приёмов агротехнологии получения высоких урожаев как основной и так повторной культуры для региона.

Методы и принципы исследования

Полевые опыты проводили в условиях староорошаемых сероземных почв фермерских хозяйств «Райхон» и «Б.Турдиев» Самаркандской области. Механический состав почвы - среднесуглинистые с залеганием грунтовых вод на глубину 5-10 м. Агрохимические показатели пахотного горизонта характеризуются низким содержанием гумуса (0,98-1,11%), нитратного азота (8,41-10,67 мг/кг), подвижного фосфора (25,43-27,61 мг/кг), обменного калия (189-216 мг/кг) почвы.

Объектом исследования служили сортообразцы батата Хазина (UZ) - стандарт, Победа (RU), Yellow (JP), Pumpkin (KP), Сочакинур (UZ), Хар-Вау (CN), Филиал (UZ), Chestnut (KP), Тойлоқи (UZ), Kumara Red (EE), Betty (IT), Beauregard (US), Jewel (US), Bonita (ES), Sumor (JP), Japan (JP), Porto Rico (PT), Georgia Jet (US), Beige (US).

Для выполнения целей исследования были проведены полевые опыты по следующим направлениям:

1-опыт. Оценка сортообразцов сладкого картофеля в условиях Самаркандской области и выделение из них перспективных. Изучено 20 сортообразцов батата, интродуцированных из-за рубежа (Россия, Япония, Южная Корея, Китай, Эстония, Италия, США, Испания, Португалия).

2-опыт. Установлено влияние на рост растений, темп формирования урожая ботвы и клубни, продуктивность и товарную урожайность выделенных сортов батата при различных видах мульчирования рассады после высадки в открытом поле. Для этого сравнивали у сортов батата Сочакинур и Хар-Вау без мульчирования (контроль), мульчирования гребня перепревшим навозом толщиной 1-2 см с нормой 3-4 т/га и мульчирования прозрачной пленкой (толщина 0,008 мм).

3-опыт. Изучение роста растений, формирования урожая и товарной урожайности сортов батата при различных ширинах междурядий (70 и 90 см) и высадкой в каждом гнезде 1, 2 и 3 рассады. При этом в опыте сравнивали у сортов батата Сочакинур и Хар-Вау густоту стояния растения с шириной 70 см - 57,1, 114,1, 171,3, а 90 см - 55,5, 111,1 и 166,5 тыс. на 1 га.

4-опыт. Установление влияния роста, формирования ботвы и клубней, урожайности и сохраняемости выделенных сортов батата в зависимости от режимов орошения. В опыте изучали 3 режима орошения по предполивной влажности почвы не ниже 65-70, 70-70 и 70-80% ППВ для сортов батата Хар-Вау и Сочакинур,.

5-опыт. Выявление влияния формирования куста, урожайности и лежкости сортов батата при разных нормах минеральных удобрений. В опыте у сортов батата Сочакинур и Хар-Вау сравнивали следующие нормы удобрений: 1. Без удобрений (контроль); 2. N₁₀₀P₈₀K₉₀ кг/га; 3. N₁₅₀P₁₂₀K₇₅ кг/га; 4. N₂₀₀P₁₆₀K₁₀₀ кг/га; 5. N₂₅₀P₂₀₀K₁₂₅ кг/га.

6-опыт. Установление влияния различных сроков высадки рассады в основной и повторной культуры (после озимых зерноколосовых, овощных и промежуточных культур) на рост, формирования урожая, урожайности и лежкости. В опыте изучали сорта батата Хазина(ст.), Сочакинур, Тойлоқи и Филиал при сроках высадки рассады 10.04,20.04,30.04,10.05,20.05(в основной культуре), а в сроках высадки 20.06,30.06 и 10.07(в повторной культуре).

Площадь делянки во всех опытах 56 м² (по орошению и удобрению), 28 м² (по сортам и срокам высадки рассады). Повторность - 3-4 кратная.

Все учёты, наблюдения, анализы, уход и уборку урожая осуществляли по общепринятым методикам и агорекомендациям [1], [2], [12], [13].

Основные результаты

Исследованиями установлено, что по выходу рассады сортообразцы сладкого картофеля отличались и составили от 5,6 до 19,8 штук с одного клубня. Наибольший выход рассады (14,7-19,8 штук) был получен у сортов Сочакинур, Japan, Победа, Jewell, Хазина, Хар-Вау, Bonita.

По скороспелости, то есть по продолжительности вегетационного периода, сорта заметно варьировались в пределах 121-145 дней, самыми скороспелыми (121-133 дней) оказались сорта Сочакинур и Хар-Вау. У стандартного сорта Хазина вегетационный период был 140 дней. По сравнению стандарта относительно скороспелыми были сортообразцы Победа, Yellow, Pumpkin, Chestnut, Kumara Red, Betty, Beauregard, Sumor, Japan, Porto Rico, Nency Hall.

Изученные сортообразцы батата в начале вегетации растений (на 30-день после высадки рассады) значительно отличались по росту растений, боковых побегов, облиственности и листовой поверхности; самые высокорослые растения (26,0-29,1 см), со многими побегами (3-4 шт.), облиственные (62-71 шт.) и листовой поверхностью (0,19-0,21 м²), мощной ботвой (280-293 г) отмечались у сортов Сочакинур, Japan, Хар-Вау. Данное превосходство сохранилось в период вегетации растений, и на 120-день после высадки рассады составила, соответственно, 157,2-188,9 см, 14-15 штук, 234-260 штук и 0,70-0,78 м², 486-501 г.

Выявлено, что у изученных сортов батата после высадки рассады в поле, первый период вегетации растений (30-60-день после высадки рассады) у растений образуется в основном надземная часть ботвы (то есть отношение ботвы и клубней составили 1,0:0,7-1,3), а во второй половине вегетации (на 60-120-день после высадки рассады) в основном формируется урожай клубней. Установлено, что в этом периоде клубни превышают отношение ботвы в 2,1-2,5 раз.

Отмечено, что темп накопления урожая ботвы и клубней был больше у сортов Сочакинур, Хар-Вау, Japan по сравнению стандартного сорта Хазина, и в конце вегетации растений масса ботвы составила 453-501, а урожай клубней 991-1178 г (рис.1).

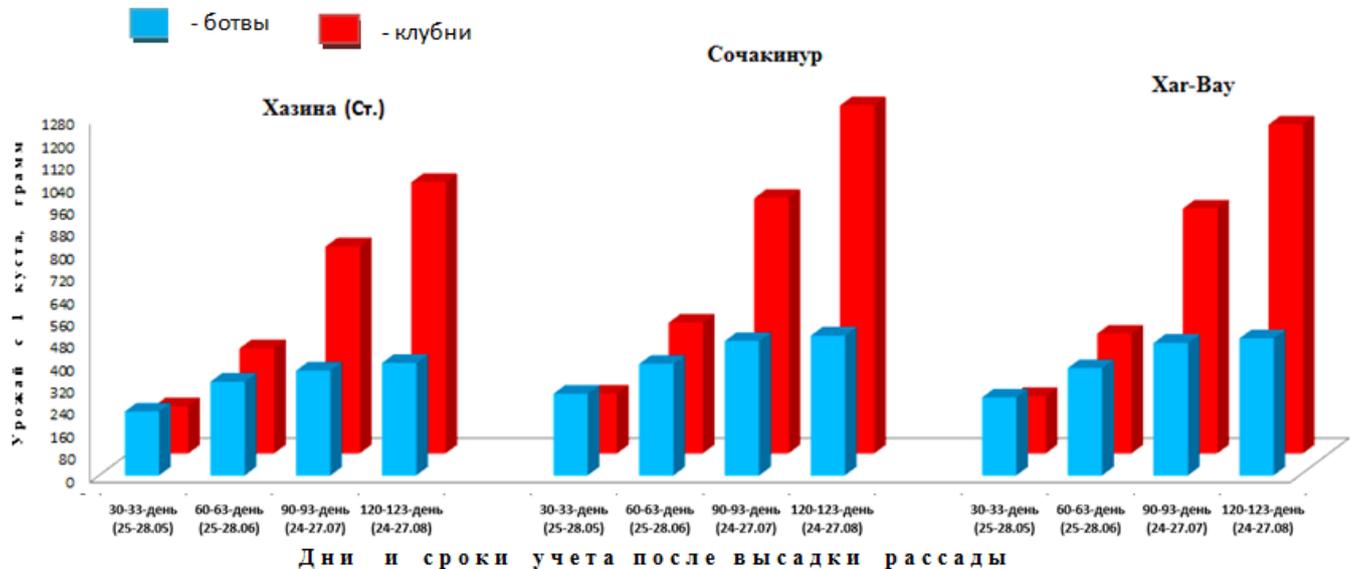


Рис. 1 – Формирование урожая ботвы и клубней и сортов батата

Самые высокие показатели продуктивности (1003-1265 г) были получены у сортообразцов Сочакинур, Хар-Вай, Japan, Kumara Red, Bonita, Beauregard. При этом эти сорта отличались по компактности клубней в гнезде, а также клубни имели белую, желтую, кремовую, красную, розовую, светло-розовую окраску; длинную, длинноовальную, удлинненно-грушевидную форму с поверхностными глазками.

Наибольшая урожайность (44,2-45,7 т/га), из них товарный урожай (43,8-44,8 т/га или 97,4-98,0%) наблюдалась у сортообразцов сладкого картофеля Сочакинур, Хар-Вай, Japan, Филиал. При этом прибавка урожая составила 10,2-11,7 т/га или 130,0-134,5% (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность и товарность сортообразцов батата

№	Наименование сорта и происхождение	Урожайность по годам, т/га			Средняя урожайность т/га	Из них товарный урожай		По сравнению со стандартом	
		2019	2020	2021		т/га	%	т/га	%
1.	Хазина (UZ)-ст	34,0	32,0	36,0	34,0	33,0	97,1	-	100,0
2.	Победа (RU)	38,1	34,7	34,3	35,7	33,3	93,3	1,7	105,0
3.	Yellow (JP)	37,0	29,5	32,5	33,0	30,8	93,3	-1,0	97,1
4.	Pumpkin (KP)	45,5	37,8	40,7	41,3	38,7	93,6	7,3	121,6
5.	Сочакинур (UZ)	47,4	43,7	46,1	45,7	44,8	98,0	11,7	134,5
6.	Хар-Вай (CN)	48,0	43,4	44,5	45,3	44,1	97,4	11,3	133,2
7.	Chestnut (KP)	40,4	38,1	39,2	39,2	37,7	96,1	5,2	115,4
8.	KumaraRed (EE)	43,6	39,8	41,7	41,7	39,9	95,7	7,7	122,6
9.	Betty (IT)	40,2	35,6	38,3	38,0	35,5	93,3	4,0	111,9
10.	Beauregard (US)	44,4	38,0	40,5	41,0	39,4	96,2	7,0	120,5
11.	Jewell (US)	34,1	32,2	32,4	32,9	30,8	93,6	-1,1	96,8
12.	Bonita (IS)	43,7	40,5	41,7	42,0	41,2	98,2	8,0	123,4
13.	Sumor (JP)	36,2	40,3	38,6	38,4	37,3	97,2	4,4	112,8
14.	Japan (JP)	46,7	43,0	45,2	45,0	43,8	97,4	11,0	132,3
15.	PortoRico (PT)	39,8	37,3	41,3	39,5	37,2	94,3	5,5	116,1
16.	GeorgiaJet (US)	40,7	37,5	36,6	38,3	36,3	94,9	4,3	112,5
17.	NencyHall (US)	44,6	42,1	42,7	43,1	41,9	97,1	9,1	126,9
18.	Beige (US)	42,2	37,8	41,5	40,5	39,5	97,5	6,5	119,1
19.	Тойлоқи(UZ)	45,0	39,0	43,8	42,6	41,7	97,8	8,6	125,3
20.	Филиал(UZ)	48,3	38,2	46,1	44,2	43,4	98,3	10,2	130,0
	$S_{\bar{x}}(\%) =$	1,16	2,11	1,26	-	-	-	-	-
	НСР05 (т/га) =	1,39	2,32	1,45	-	-	-	-	-

Анализами установлено, что содержание сухого вещества в клубнях сортов батата составила 21,7-23,2%, крахмала 12,4-14,4%. Самое высокое содержание сухого вещества (22,5-23,2%) и крахмала (14,0-14,4%) отмечалось у сортов Сочакинур, Хаг-Вау, Bonita, Georgia Jet, Nency Hall. Содержание сахара в клубнях составило 5,2-6,8 %, а белка 1,6-2,0%, что существенно не отличались. Содержание в клубнях аскорбиновой кислоты (витамина "С") у изученных сортов батата было в пределах 5,0-10,6 мг/%, самое высокое (9,2-10,6 мг/%) содержание отмечали у сортов Сочакинур, Хаг-Вау, Japan.

При изучении лежкости сортообразцов сладкого картофеля выявлено, что естественная убыль составила 4,8-6,8%, а общие потери 4,8-8,0%, при этом выход здоровых стандартных клубней после хранения был 92,0-95,2%. Самая хорошая лежкость или сохраняемость (4,8-5,9 балла) наблюдалась у образцов Хаг-Вау, Сочакинур, Kumara Red, Bonita, Sumog, Japan, Porto Rico, Georgia Jet, Nency Hall, которая оценивалась оценкой "хорошо" и "удовлетворительно".

Результаты исследований показали, что различные виды мульчирования существенно влияют на рост и развитие сортов батата, период от высадки рассады до созревания на вариантах мульчирования удлиняется на 2-3 дня, у сорта Сочакинур составил 127-128, а у сорта Хаг-Вау - 134-135 дней, при этом в начале вегетации растений (на 30-день после высадки рассады) высота была на 5,9-7,5 см выше, и это преимущество сохранялось до конца вегетации и на 120-день на контрольном (без мульчирования) варианте по сортам высота растений была 158,1-187,6; при мульчировании навозом - 167,3-191,5; а при мульчировании пленкой - 169,2-194,3 см.

При мульчировании в слое 0-10 см почвы создана возможность управления режима температуры и влажности почвы, так на 3-день температуры почвы на вариантах мульчирования была на 1,2-1,6⁰С, влажность на 0,2-0,4%, на 15-день, соответственно, 1,4-1,9⁰С и 0,3-0,6%, а на 20-день - 1,3-1,7⁰С и 0,3-0,5% выше по сравнению с контролем (без мульчирования).

Возделывание сортов батата Сочакинур, Тойлоки, Филиал с мульчированием, регулирование температуры и влажности почвы для растений создает благоприятные условия, в результате своевременно образуется оптимальная площадь листовой поверхности (0,76-0,84 м² или 45,0-50,4 тыс. м² на 1 га). В итоге накопление урожая идет интенсивно и на 55-66 г больше урожай накапливается с 1 куста.

Самая высокая урожайность у этих сортов батата (48,0-51,7 т/га) была получена при мульчировании с плёнкой, при этом прибавка урожая составила 4,8-5,7 т/га.

По результатам исследования отмечено, что при высадке рассады сорта батата Хаг-Вау по схеме 70x25x1 см с густотой 57,1 тыс. растений на 1 га, вегетационный период составил 135 дней, а при густоте 171,3 тыс. растений этот период сокращался на 3-6 дней, при схеме 90x20x1 см с густотой 55,5 тыс. шт. вегетационный период - 137 дней, а при загущении до 166,5 тыс. уменьшался на 2-4 дня. Однако вегетационный период удлинялся на 2-4 дня по сравнению с шириной 70 см. Аналогичная закономерность отмечалась и по сорту батата Сочакинур, и при ширине 70 см вегетационный период составил 123-127 дней, загущение с 57,1 до 171,3 тыс. растений на 1 га этот период сокращался на 2-4 дня, а при ширине 90 см на 3-6 дней, но на 1-3 дня удлинялся по сравнению с шириной 70 см.

На 30-день после высадки рассады в поле у обоих сортов при схеме 70x25x1 и 90x20x1 см наблюдалось превосходство, и оно сохранялось до конца вегетации. Самые высокорослые и интенсивный рост растений отмечены у сорта батата Сочакинур при схеме 90x20x1 см с густотой 55,5 тыс. на 1 га. При этом на 30-день после высадки рассады в поле высота растений составила 41,6, на 60-день - 92,5, на 90-день - 157,8 и на 120-день 194,5 см, а прирост 50,9; 65,3 и 36,7 см.

При выращивании сортов батата Хаг-Вау и Сочакинур по схеме 70x25x1 или 90x20x1 см с густотой 57,1 тыс. шт. на 90-день после высадки рассады отмечалось формирование оптимальной площади листовой поверхности (38,3-42,8 м²). На 120-день после высадки этот показатель достиг 46,3-50,8 тыс. м². Поэтому самые высокие показатели продуктивности (урожай клубней с 1 куста у изученных сортов 1227-1414 г, количество клубней с куста 8,9-9,2 шт., средняя масса одного клубня с куста - 137-153 г) отмечались при схеме 70x25x1 и 90x20x1 см с густотой 55,5-57,1 тыс. на 1 га.

Установлено, что при высадке в каждом гнезде 2-3 рассады, продуктивность гнезда у сортов батата уменьшалась до 947-976 г, а количество клубней увеличивалась до 13,2-18,7 шт., однако масса снижалась до 51-53 г, изменялась форма, уменьшалась товарность клубней.

Наибольшая урожайность (43,6-47,8 т/га), из них товарный урожай 41,0-46,6 т/га или 94,0-97,5%, был получен при схеме 70x25x1 и 90x20x1 см с густотой 55,5-57,1 тыс. на 1 га. При выращивании ширины междурядий 90 см обеспечило получение прибавки урожая с гектара 2,5-2,6 тонн по сравнению с шириной 70 см.

Выявлено, что при поддержании режима орошения по предполивной влажности почвы не ниже 70-80% ППВ вегетационный период удлинялся на 3 дня, растения были высокорослыми (179,8-196,3 см), облиственными, то есть формировали большую площадь листовой поверхности (0,85-0,92 м² или 48,5-52,5 тыс.м²), повышение чистой продуктивности фотосинтеза, однако наблюдалась тенденция снижения содержания хлорофилла в листьях, самая высокая чистая продуктивность фотосинтеза и содержание хлорофилла в листьях отмечались на 90-день после высадки рассады и составили, соответственно, 5,11-6,32 г/м² в сутки и 530,6-558,5 мг/100 г.

Самая высокая урожайность у сортов батата Хаг-Вау и Сочакинур (53,1-55,4 т/га), в том числе урожай товарных клубней 51,8-54,4 т/га, была получена при режиме орошения по предполивной влажности почвы 70-80% ППВ или при 12 поливах по схеме 5-7 (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние различных режимов орошения выделенных сортов сладкого картофеля на урожайность и выход товарного урожая

№	Режим орошения по предполивной влажности почвы, % ППВ	Урожайность по годам, т/га			Средняя урожайность, т/га	Из них товарный урожай		По сравнению со стандартом	
		2019	2020	2021		т/га	%	т/га	%
У сорта Хар-Вау									
1	65-70 (контроль)	47,0	43,1	45,8	45,3	43,1	95,2	-	100,0
2	70-70	50,4	45,6	49,8	48,6	46,9	96,4	3,3	107,3
3	70-80	56,3	51,0	52,0	53,1	51,6	97,1	7,8	117,2
	$S_x(\%) =$	0,88	1,21	0,62					
	НСР ₀₅ (т/га) =	1,80	2,26	1,21					
У сорта Сочакинур									
4	65-70 (контроль)	51,0	44,1	49,5	48,2	46,3	96,1	-	100,0
5	70-70	53,1	47,0	52,3	50,8	49,5	97,5	2,6	105,4
6	70-80	58,8	52,6	54,8	55,4	54,4	98,2	7,2	114,9
	$S_x(\%) =$	0,56	0,57	0,67					
	НСР ₀₅ (т/га) =	1,22	1,08	1,39					

При этом обеспечена прибавка урожая с гектара 7,2-7,8 тонн, по сравнению с контрольным режимом орошения 65-70% ППВ, выход урожая на 1 м³ воды был на 1,64-1,66 кг больше, а расход воды на 1 ц урожая на 5,0-5,6 м³ меньше. Режимы орошения оказали существенное влияние на лежкость клубней, при режиме орошения 70-80% ППВ общие потери клубней были наибольшими и составили 5,5-6,2%, степень сохраняемости (лежкости) оценивалась оценкой "удовлетворительно".

Проведенными исследованиями установлено, что при различных нормах минеральных удобрений вегетационный период у сорта батата Хар-Вау составил 131-139 дней, а у сорта Сочакинур - 125-134 дней, в зависимости от норм удобрений удлинялся от 2-3 до 8-9 дней, на 30-день после высадки рассады высота растений по сортам была 32,6-45,8 см, на 90-день рост идет интенсивно, на 120-день - 171,1-213,0 см, то есть на 10,6-40,4 см выше по сравнению с контрольным вариантом (без удобрений). Аналогичная закономерность наблюдалась и по формированию площади листовой поверхности, на 90-день вегетации растений на контрольном (без удобрений) варианте по сортам площадь листовой поверхности составила с гектара 32,6-34,3 тыс. м², а при применении удобрений в норме N₂₀₀P₁₆₀K₁₀₀ кг/га - 42,5-44,5 тыс. м², а на 120-день - 47,4-50,8 тыс. м². А это для получения устойчивого высокого урожая батата является оптимальным показателем, поэтому при этой норме чистая продуктивность фотосинтеза на 1,85-1,98 г/м² в сутки, а содержание хлорофилла 65,7-69,4 мг/100 г в листьях была больше по сравнению с контрольным вариантом (без удобрений).

При повышении нормы минеральных удобрений - N₂₅₀P₂₀₀K₁₂₅ кг/га удлиняется вегетационный период растений, ботва отличается мощным ростом, задерживается формирование урожая клубней и опаздывает созревание.

Наибольшая урожайность (51,2-52,8 т/га), из них урожай товарных клубней 49,3-50,2 т/га, у изученных сортов батата Хар-Вау, Сочакинур и Тойлоки была получена при норме минеральных удобрений N₂₀₀P₁₆₀K₁₀₀ кг/га и прибавка урожая составила с 1 гектара 18,5-18,7 тонн. При этом выход здоровых стандартных клубней после хранения был 93,9-94,4%, лежкость оценивалась в 5,6-6,2 балла, оценкой "удовлетворительно".

Выявлено, что рост, развитие растений, продолжительность вегетационного периода батата в зависимости от сроков возделывания составила у стандартного сорта Хазина 132-142, у сорта Сочакинур 119-126, у сорта Тайлоки - 124-134, а у сорта Филиал 120-132 дней (таблица 3). Относительно скороспелыми оказались сорта Сочакинур и Филиал. Вегетационный период у изученных сортов при возделывании основной культуры удлиняло на 2-7 дней по сравнению с повторной культурой.

При возделывании сортов батата в основной культуре при сроке высадки рассады 30 апреля растения были от начала до конца вегетации длинными (158,1-191,6 см), с наибольшей площадью листовой поверхности (0,66-0,78 м² с куста), мощной ботвой (446-524 г). Относительно высокие показатели роста, формирования листовой поверхности и ботвы при повторной культуре отмечали при высадке рассады 30 июня.

Самая высокая продуктивность (1129-1389 г) и урожайность (50,2-53,6 т/га) была получена при высадке рассады 30 апреля в основной культуре. При этом прибавка урожая составила 6,4-7,2 т/га. При возделывании в качестве повторной культуры наибольшая урожайность у сортов батата (37,9-40,6 т/га) наблюдались при высадке рассады 30 июня, когда прибавка составила 2,5-3,6 т/га.

Таблица 3 – Рост, развитие, продуктивность, урожайность и лежкость сортов батата в зависимости от сроков возделывания (ср. за 3 года)

№	Высадка рассады		Вегетационный период, в днях	Длина главного стебля, см	Площадь листовой поверхности, м ²	Масса с 1 куста, г		Урожайность, т/га	Выход здоровых стандартных клубней после хранения, %
	периоды (способы)	сроки				ботвы, куста	клубней		
У сорта Хазина (ст.)									
1	В качестве основной культуры	10.04 (контр.)	143	142,6	0,58	405	983	34,5	92,7
2		20.04	141	153,2	0,62	428	999	37,8	93,0
3		30.04	140	158,1	0,66	446	1018	40,8	93,5
4		10.05	140	155,4	0,65	432	996	37,6	93,3
5		20.05	138	148,6	0,64	419	988	36,1	93,2
6		30.05	136	145,0	0,60	410	974	35,0	93,2
7	В качестве повторной культуры	20.06	134	143,2	0,56	353	686	31,2	91,9
8		30.06	133	149,0	0,60	375	717	33,7	91,8
9		10.07	132	143,3	0,57	350	694	27,6	90,6
НСР ₀₅ =								1,4-2,2	
У сорта Сочакинур									
10	В качестве основной культуры	10.04	126	180,0	0,75	496	1235	46,4	94,5
11		20.04	124	188,2	0,76	513	1246	49,8	94,8
12		30.04	124	191,6	0,78	524	1259	53,6	95,0
13		10.05	123	186,2	0,76	519	1250	51,5	94,2
14		20.05	123	184,1	0,75	512	1246	50,7	93,7
15		30.05	122	182,6	0,73	504	1238	49,4	93,3
16	В качестве повторной культуры	20.06	120	184,0	0,62	405	718	36,8	91,7
17		30.06	119	188,3	0,69	444	797	40,6	91,8
18		10.07	119	186,1	0,64	391	740	35,1	90,8
НСР ₀₅ =								1,8-3,0	
У сорта Тайлоки									
19	В качестве основной культуры	10.04	134	156,9	0,68	485	1119	43,8	95,5
20		20.04	132	165,3	0,70	502	1145	47,9	95,9
21		30.04	132	174,8	0,73	510	1162	50,2	96,0
22		10.05	130	171,4	0,72	503	1155	48,1	95,2
23		20.05	130	168,0	0,71	492	1148	46,4	95,6
24		30.05	128	166,5	0,62	487	1136	45,1	95,4

Окончание таблицы 3 – Рост, развитие, продуктивность, урожайность и лежкость сортов батата в зависимости от сроков возделывания (ср. за 3 года)

№	Высадка рассады		Вегетационный период, в днях	Длина главного стебля, см	Площадь листовой поверхности, м ²	Масса с 1 куста, г		Урожайность, т/га	Выход здоровых стандартных клубней после хранения, %
	периоды (способы)	сроки				ботвы, куста	клубней		
У сорта Тайлоки									
25	В качестве повторной культуры	20.06	128	167,2	0,58	396	706	34,7	92,8
26		30.06	125	170,5	0,61	440	778	37,9	92,8
27		10.07	124	169,1	0,57	387	698	32,5	91,7
НСР ₀₅ =								1,1-1,9	
У сорта Филиал									
28	В качестве основной культуры	10.04	132	172,8	0,72	492	1160	45,2	96,0
29		20.04	130	179,2	0,74	507	1184	48,5	96,1
30		30.04	128	187,8	0,75	518	1205	51,8	96,5
31		10.05	128	182,3	0,73	507	1192	49,2	96,2
32		20.05	126	176,2	0,72	496	1180	47,8	95,9
33		30.05	125	172,1	0,68	492	1166	47,0	95,5
34	В качестве повторной культуры	20.06	124	174,2	0,66	401	711	35,5	93,0
35		30.06	122	179,5	0,73	436	788	38,0	92,8
36		10.07	120	176,8	0,70	392	717	33,6	92,0
НСР ₀₅ =								1,5-3,1	

Выход здоровых стандартных клубней после хранения у сортов батата Сочакинур, Тайлоки, Филиал при возделывании в качестве основной культуры 30 апреля составила 95,0-96,5%, что лежкость клубней оценивали хорошо и удовлетворительно. А при возделывании повторной культуры у всех сортов и сроков высадки рассады лежкость клубней оценивали "плохо", а частично удовлетворительно. Это связано с незрелостью клубней.

Заключение

В условиях орошаемых сероземных почв Самаркандской области широкое возделывание выведенных сортов батата Сочакинур, Тайлоки, Хар-бей и Филиал в основной культуре 20-30 апреля, по схемам размещения 70x25x1 и 90x20x1 см, густотой состояния растений 55500-57100 на 1 гектар путём мульчирования с пленкой, поддержание в период вегетации растений режима орошения по предполивной влажности почвы не ниже 70-80% ППВ или проведение 12 поливов по схеме 5-7 (от «высадка рассады до смыкание ботвы» - 5, от «смыкание ботвы до созревание» - 7 раз), внесение минеральных удобрений в норме N₂₀₀P₁₆₀K₁₀₀ кг/га способствует получению устойчивого высокого урожая (50 т/га и выше) с хорошими товарными качествами. А при повторной культуре высадки рассады 20-30 июня обеспечивает возможности получения урожая в пределах 35-40 т/га. Внедрение новых сортов и рекомендуемые приемы технологии батата в основной и повторной культуры позволяет рациональному использованию земель и воды, а также продовольственное безопасности населения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. / Б. А. Доспехов. – М.: “Колос”, 1985. – С. 280-285.
- Методика исследований по культуре картофеля (ВНИИКС). – М.:1967. – С.210.
- Остонакулов Т. Э. Вопросы селекции и технологии возделывания батата (сладкого картофеля) в условиях Зарафшанский долины / Т. Э. Остонакулов, А. Х. Хамзаев, А. А. Шамсиев. – Ташкент. Издательство «Наврзу», 2020. – С. 134.
- Федоров, А. В. Продуктивность растений *Ipomoea batatas* Lam. в южном агроклиматическом районе Удмуртской Республики / А. В. Федоров, Д. А. Зорин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 12 (78). – Ч. 2. – С. 18-21.
- Зорин Д. А. Интродукция батата в Удмуртской республике / Зорин Д. А, Черемных Е. Н. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4 (60). – С. 11-15.
- Зорин Д. А. Урожайность *Ipomoea batatas* Lam. в северном агро-климатическом районе Удмуртской Республики / Д. А. Зорин, А. В. Федоров // Тенденции развития науки и образования. 2018. – №44. – Часть 5. – С. 46-49.
- Атабаева Х. Н. Усимликшунослик / Атабаева Х. Н., Худойкулов Ж. Б. – Дарлик. Тошкент, 2018. – С. 279-282.
- Балашев Н. Н. Овощеводство / Балашев Н. Н., Земан Г. О. – Ташкент, 1981. – С.355-357
- Мавлянова Р. Ф. Технология выращивания батата в Узбекистане / Р. Ф. Мавлянова. – Ташкент, 2003. – С. 18.
- Остонакулов Т. Э. Плодоводство и овощеводство (Овощеводство) / Т. Э. Остонакулов, В. И. Зуев, О. Қ. Қодирхужаев. – Ташкент, 2019. – 552 с.

11. Остонакулов Т. Э. Сорта сладкого картофеля и особенности технологии их возделывания / Т. Э. Остонакулов, А. А. Шамсиев // Картофель и овощи, (12), – С.18-20.
12. Государственный реестр сельскохозяйственных культур, рекомендованных к посеву на территории Республики Узбекистан. – Ташкент. 2021. –124. с.
13. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков. – Ленинград. 1987. – 456 с.
14. Остонакулов, Т. Э. Клубнеплодные культуры в Узбекистане / Т. Э. Остонакулов // Ташкент. Навруз. 2020. – С. 324.
15. The Status, Performance and Impact of sweet potato cultivation on farming communities of Odisha / Prakash, P., Kishore, P., Jaganathan, D.– India. 2018. – DOI: 10.22004/ag.econ.277216.
16. Compost and biochar to promote soil biological activities under sweet potatoes cultivation in a subtropical semiarid region / Navarro, J., Salazar, J., Kang, J. J. et al. // Applied and Environmental Soil Science, 2020.
17. Krochmal-Marczak, B. Impact of cultivations technology on the yield of sweet potato (*Ipomoea Batatas* L) tubers. / Krochmal-Marczak, B., Sawicka, B., Tobiasz-Salach, R. // Emirates Journal of Food and Agriculture, -2018. -P 978-983.
18. Kwak S. S. Biotechnology of the sweetpotato: ensuring global food and nutrition security in the face of climate change / S. S. Kwak // Plant Cell Reports. – 38(11). -P.1361-1363.
19. Estimation of ground surface and accuracy assessments of growth parameters for a sweet potato community in ridge cultivation / Teng, P., Ono, E., Zhang, Y e al. // Remote Sensing. – 11(12), -P. 1487.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta [Field experiment technique]. -M.: "Kolos", 1985. -P.280-285. [in Russian]
2. Metodika issledovaniy po kulture kartofelya (VNIPIKH) [Methods of research on potato culture (VNIPIKH)]. - M.: 1967. - 210 p. [in Russian]
3. Ostonakulov T. E. Voprosy selektsii i tekhnologii vozdelvaniya batata (sladkogo kartofelya) v usloviyakh Zarafshanskiy doliny [Shamsiev A.A. Issues of breeding and cultivation technology of sweet potato (sweet potato) in the conditions of the Zarafshan valley.] / T. E. Ostonakulov. A. Kh. Khamzayev. A. A. Shamsiyev. – Tashkent. Navruz Publishing House, 2020. – 134 p. [in Russian]
4. Fedorov, A. V. Produktivnost rasteniy *Ipomoea batatas* Lam. v yuzhnom agroklimaticheskom rayone Udmurtskoy Respubliki [Plant productivity of *Ipomoea batatas* Lam. in the southern agro-climatic region of the Udmurt Republic] / A.V.Fedorov, D.A.Zorin // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal]. - 2018. - No. 12 (78). - Part 2. - P. 18-21. [in Russian]
5. Zorin D. A. Introduktsiya batata v Udmurtskoy respublike [Introduction of sweet potato in the Udmurt Republic]. / Zorin D. A., Cheremnykh E. N. // Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy]. -No. 4 (60) 2019. -P. 11-15. [in Russian]
6. Zorin D. A. Urozhaynost *Ipomea batatas* Lam. v severnom agro-klimaticheskom rayone Udmurtskoy Respubliki [Productivity of *Ipomea batatas* Lam. in the northern agro-climatic region of the Udmurt Republic] / D. A. Zorin. A. V. Fedorov. // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]. – 2019. – № 4 (60). – P. 46-49. [in Russian]
7. Atabayeva Kh. N. Ÿsimlikshunoslik [Crop production] / Atabayeva Kh. N.. Khudoykulov Zh. B. – Darslik, Toshkent. 2018. – pp. 279-282. [in Russian]
8. Balashev N. N. Ovoshchevodstvo [Vegetable growing] / Balashev N. N. Zeman G. O. – Tashkent. 1981. – pp.355-357. [in Russian]
9. Mavlyanova R. F. Tekhnologiya vyrashchivaniya batata v Uzbekistane [Technology of growing sweet potato in Uzbekistan] / R. F. Mavlyanova. – Tashkent. 2003. – p. 18. [in Russian]
10. Ostonakulov T.E. Plodovodstvo i ovoshchevodstvo (Ovoshchevodstvo) [Fruit and vegetable growing (Vegetable growing)] / T. E. Ostonakulov. V. I. Zuyev. O. K. Kodirkhuzhayev. – Tashkent. 2019. – 552 p. [in Russian]
11. Ostonakulov, T. E. Sорта сладкого картофеля i osobennosti tekhnologii ikh vozdelvaniya [Varieties of sweet potatoes and features of their cultivation technology]. / T. E. Ostonakulov. . A. A. Shamsiyev // Kartofel i ovoshchi [Potatoes and vegetables]. (12). – p.18-20. [in Russian]
12. State register of agricultural crops recommended for sowing on the territory of the Republic of Uzbekistan. Tashkent. 2021. – Tashkent. 2021. –124. p.
13. Ermakov A. I. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biochemical research of plants] / A. I. Ermakov. – Ленинград. 1987. – 456 p. [in Russian]
14. Ostonakulov, T. E. Klubneplodnyye kultury v Uzbekistane [Tuber crops in Uzbekistan. Tashkent] / T. E. Ostonakulov // Tashkent. Navruz. 2020. –324 p. [in Russian]
15. The Status, Performance and Impact of sweet potato cultivation on farming communities of Odisha / Prakash, P., Kishore, P., Jaganathan, D.– India. 2018. – DOI: 10.22004/ag.econ.277216.
16. Compost and biochar to promote soil biological activities under sweet potatoes cultivation in a subtropical semiarid region / Navarro, J., Salazar, J., Kang, J. J. et al. // Applied and Environmental Soil Science, 2020.
17. Krochmal-Marczak, B. Impact of cultivations technology on the yield of sweet potato (*Ipomoea Batatas* L) tubers. / Krochmal-Marczak, B., Sawicka, B., Tobiasz-Salach, R. // Emirates Journal of Food and Agriculture, -2018. -P 978-983.
18. Kwak S. S. Biotechnology of the sweetpotato: ensuring global food and nutrition security in the face of climate change / S. S. Kwak // Plant Cell Reports. – 38(11). -P.1361-1363.
19. Estimation of ground surface and accuracy assessments of growth parameters for a sweet potato community in ridge cultivation / Teng, P., Ono, E., Zhang, Y e al. // Remote Sensing. – 11(12), -P. 1487.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.027>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ЧЕРНОЗЁМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Научная статья

Пакуль А.Л.¹, Ямщиков М.А.², Пакуль В.Н.^{3,*}

¹ ORCID:0000-0002-8904-5592;

² ORCID: 0000-0001-6546-9799;

³ ORCID: 0000-0003-0681-6773;

^{1, 2, 3} Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия

* Корреспондирующий автор (vpakyl[at]mail.ru)

Аннотация

Системы обработки почвы, являются фундаментальной основой технологии возделывания ярового ячменя, их оценка выражается интегральным показателем – урожайностью с единицы площади. Исследования проведены в Западной Сибири, в полевом стационарном опыте Кемеровского НИИСХ-филиал СФНЦА РАН в 2019–2021 гг. в четырехпольном зернопаровом севообороте, развёрнутом в пространстве всеми четырьмя полями, в четырёх повторениях со следующим чередованием культур: пар – яровая пшеница – горох – ячмень. Цель исследований: установить эффективность различных систем обработки почвы и прямого посева на чернозёме выщелоченном в условиях Западной Сибири. Отвальная глубокая система обработки почвы обеспечила самую низкую урожайность ярового ячменя как в бинарных, так и чистых посевах, 3,47 и 378 т/га, преимущество в чистых посевах имеет нулевая система обработки почвы – 4,05 т/га, в бинарных – комбинированная глубокая – 4,17 т/га. Установлена эффективность безотвальных и нулевой системы обработки почвы, снижение прямых производственных затрат, обеспечило высокую рентабельность при посеве ярового ячменя при нулевой системе обработки почвы как в бинарных посевах – 189,2%, так и в чистых посевах – 230,9% и низкую себестоимость зерна – 3,11 и 2,72 тыс. руб./т соответственно.

Ключевые слова: система обработки почвы, яровой ячмень, урожайность, рентабельность, себестоимость.

THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS SYSTEMS OF TILLAGE AND DIRECT SOWING ON LEACHED CHERNOZEM IN WESTERN SIBERIA

Scientific article

Pakul A.L.¹, Yamshchikov M.A.², Pakul V.N.^{3,*}

¹ ORCID:0000-0002-8904-5592;

² ORCID: 0000-0001-6546-9799;

³ ORCID: 0000-0003-0681-6773;

^{1, 2, 3} Kuzbass State Agricultural Academy Kemerovo, Russia

* Corresponding author (vpakyl[at]mail.ru)

Abstract

Tillage systems are the fundamental basis of spring barley cultivation technology, their evaluation is expressed by an integral indicator - yield per unit area. The research was carried out in Western Siberia, in the field stationary experiment of the Kemerovo Research Institute-branch of the SFNCA RAS in 2019-2021. in a four-field grain-steam crop rotation, deployed in space by all four fields, in four repetitions with the following alternation of crops: steam - spring wheat - peas - barley. The purpose of the research: to establish the effectiveness of various systems of tillage and direct sowing on leached chernozem in Western Siberia. The dump deep tillage system provided the lowest yield of spring barley in both binary and pure crops, 3.47 and 378 t/ha, the advantage in pure crops is zero tillage system - 4.05 t/ha, in binary - combined deep - 4.17 t/ha. The efficiency of non-tillage and zero tillage systems was established, the reduction of direct production costs ensured high profitability when sowing spring barley with a zero tillage system in both binary crops - 189.2%, and in pure crops - 230.9% and low grain cost - 3.11 and 2.72 thousand rubles/ton, respectively.

Keywords: tillage system, spring barley, yield, profitability, cost.

Практическое освоение научно-обоснованных систем земледелия и прогрессивных технологий – важнейшая задача сельскохозяйственного производства [1], [2].

В последние годы у товаропроизводителей продукции сельского хозяйства растёт интерес к довольно широко распространённой в мире и нашей стране технологии No-till [3], [4], [5]. Данная технология имеет преимущества не только за счёт уменьшения эрозийных процессов, энергетических затрат, но и снижения зависимости урожайности от абиотических факторов [6], [7], [8].

Отвальная обработка в значительной степени усиливает процессы эрозии, увеличиваются потери гумуса, снижается плодородие почвы [9], [10], [11].

При использовании в течение длительного периода (не менее четырёх лет) систему прямого посева (технология No-till), на поверхности почвы сохраняются растительные остатки до полного их разложения, сохраняется плодородие почвы, останавливаются эрозийные процессы [12].

А. Л. Иванов, В. В. Кулинцев, В. К. Дридигер, В. П. Белобров считают, что технология No-till высокоэффективна на черноземных почвах, обладающих хорошими водно-физическими, химическими и биологическими свойствами [13].

Д. В. Дубовик, В. И. Лазарев, А. Я. Айдиев в результате, проведённых научных исследований, установили, что экономическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в системе прямого посева на черноземных почвах выше, чем при традиционных технологиях с обработкой почвы [14].

Цель исследований: установить эффективность различных систем обработки почвы и прямого посева на чернозёме выщелоченном в условиях Западной Сибири.

Материал и методы исследования

Исследования проведены на чернозёме выщелоченном в условиях Западной Сибири, в полевом стационарном опыте Кемеровского НИИСХ-филиал СФНЦА РАН в 2019–2021 гг. в четырехпольном зернопаровом севообороте, развёрнутом в пространстве всеми четырьмя полями, в четырёх повторениях со следующим чередованием культур: пар – яровая пшеница – горох – ячмень. Схема опыта включала следующие варианты: вспашка отвальная глубокая с оборотом пласта (22...27 см); комбинированная глубокая обработка (безотвальная обработка на глубину 22-27 см), комбинированная минимальная (безотвальная обработка на глубину 12-14 см), без обработки (прямой посев). Варианты в полевом опыте размещались систематически в один ярус. Площадь посевной делянки 4720 м², учётная 100 м². Материалом для исследований служил сорт ярового ячменя Никита, норма высева 4,5 млн. всхожих зерен/га. Посев проведён посевным комплексом Томь – 5,1. Учет урожая проводился методом сплошной уборки «Сампо-130». Показатели урожая зерна приведены к 100% чистоте ГОСТ 12037-81 и 14% влажности, ГОСТ 12041-82 [15]. Статистическая обработка полученных данных проведена по методике Б.А. Доспехова методами вариационного, дисперсионного анализов [16], в обработке компьютерных программ О.Д. Сорокина [17].

Результаты исследований

Главный показатель эффективности применения технологических приёмов возделывания зерновых культур – урожайность, сформировавшаяся в различных условиях среды [18].

Системы обработки почвы, являются фундаментальной основой технологии возделывания ярового ячменя, их оценка выражается интегральным показателем – урожайностью с единицы площади. Рассматривая среднюю урожайность по фактору – система обработки почвы, независимо от вида посева преимущество имеют две – комбинированная глубокая – 4,04 т/га, нулевая – 3,81 т/га, контроль (отвальная глубокая – 3,63 т/га (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность ярового ячменя, и элементы её структуры, 2019-2021 гг.

Система обработки почвы	Количество стеблей, шт./м ²	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г.	Урожайность, т/га
Ячмень без подсева клевера				
Отвальная глубокая	355	21,5	52,6	3,78
Комбинированная глубокая	349	21,7	53,6	3,91
Комбинированная минимальная	354	21,5	53,8	3,92
Нулевая	397	20,7	51,3	4,05
Ячмень с подсевом клевера				
Отвальная глубокая	315	21,9	51,3	3,47
Комбинированная глубокая	387	21,9	51,3	4,17
Комбинированная минимальная	312	22,5	52,2	3,58
Нулевая	317	22,6	51,7	3,57

Примечание: среднее по факторам, количество продуктивных стеблей, шт/м²: система обработки почвы: отвальная глубокая – 335,2, комбинированная глубокая – 368, комбинированная минимальная – 333,2, нулевая – 356,; вид посева: в чистом виде 363,9, бинарный посев – 332,6; НСР₀₅ по факторам: система обработки почвы – 61,5, вид посева – 43,5. Среднее по факторам, количество зерен в колосе, шт.: система обработки почвы: отвальная глубокая – 21,7, комбинированная глубокая – 21,8, комбинированная минимальная – 22,0, нулевая – 21,6; вид посева: в чистом виде 21,4, бинарный посев – 22,2; НСР₀₅ по факторам: система обработки почвы – 0,66, вид посева – 0,47. Среднее по факторам, масса 1000 зёрен, г: система обработки почвы: отвальная глубокая – 52,0, комбинированная глубокая – 52,4, комбинированная минимальная – 53,0, нулевая – 51,5; вид посева: в чистом виде 52,8, бинарный посев – 51,6; НСР₀₅ по факторам: система обработки почвы – 1,87, вид посева – 1,32. Среднее по факторам, урожайность, т/га, г: система обработки почвы: отвальная глубокая – 3,63, комбинированная глубокая – 4,04, комбинированная минимальная – 3,75, нулевая – 3,81; вид посева: в чистом виде 3,92, бинарный посев – 3,70; НСР₀₅ по факторам: система обработки почвы – 0,82, вид посева – 0,37

По средним показателям за годы исследований (2019-2021гг.) выявлена тенденция к увеличению урожайности при посеве ярового ячменя в чистом виде, по отношению к контролю при комбинированной глубокой системе обработки почвы на 0,13 т/га, комбинированной минимальной – на 0,14 т/га, нулевой – на 0,27 т/га. В бинарных посевах наибольшее превышение урожайности по отношению к отвальной глубокой системе обработки почвы отмечено при комбинированной глубокой – 0,70 т/га. Количество продуктивных стеблей, сохранившихся к уборке, являлось определяющим элементом продуктивности в формировании урожайности ярового ячменя, $r = 0,9411^*$ (* - здесь и далее по тексту выше порога достоверности). Максимальное количество продуктивных стеблей, сохранившихся к уборке

установлено при посеве ярового ячменя в чистом виде при нулевой системе обработки почвы – 397 шт./м² (контроль – 355 шт./м²), в бинарных посевах при комбинированной глубокой – 387 шт./м², контроль 315 шт./м².

При увеличении количества продуктивных стеблей на единице площади снижалось количество зёрен в колосе, $r = 0,7836^*$. В данном случае присутствует конкуренция растений за обеспеченность влагой, светом, элементами питания.

Отмечена положительная корреляция между урожайностью и массой 1000 зёрен, $r = 0,1065$. Наиболее крупное зерно сформировалось при посеве ячменя в чистом виде при комбинированной глубокой и комбинированной минимальной системах обработки почвы – 53,6 г и 53,8 г. соответственно (контроль- 52,6 г), при совместных посевах с клевером при нулевой – 51,7 г, при комбинированной минимальной – 52,2 г (контроль- 51,3 г).

Расчёт экономической эффективности показал, что лучшие экономические показатели получены при посеве ярового ячменя в чистом виде с использованием безотвальных систем обработки почвы. Условно чистая прибыль с одного гектара составила при комбинированной глубокой системе обработки почвы 18,5 тыс. руб., комбинированной минимальной 21,5 тыс. руб., отвальной глубокой (контроль) 9,9 тыс. руб., соответственно себестоимость зерна составила 4,27 тыс. руб./т, 3,52 тыс. руб./т и 6,37 тыс. руб./т, рентабельность 110,8%, 155,8%, 41,1%.

Использование нулевой системы обработки почвы при уменьшении прямых производственных затрат, обеспечило более низкую себестоимость зерна – 2,72 тыс. руб./т, высокую условно чистую прибыль – 25,4 тыс. руб./га и рентабельность 230,9%.

Такая же тенденция, по показателям экономической эффективности, сохраняется в бинарных посевах ярового ячменя при использовании нулевой системы обработки почвы, себестоимость зерна составила 3,11 тыс. руб./т, условно чистая прибыль – 21,0 тыс. руб./га и рентабельность 189,2%, соответственно отвальной глубокой (контроль) 6,97 тыс. руб./т, 7,0 тыс. руб./га, 28,9%, комбинированной глубокой – 4,51 тыс. руб./т, 18,7 тыс. руб./га, 99,5%, комбинированной минимальной – 3,89 тыс. руб./т, 18,3 тыс. руб./га, 131,6%.

Заключение

Таким образом, системы обработки почвы оказали влияние на урожайность ярового ячменя. Наибольшая урожайность в посевах ярового ячменя в чистом виде получена при нулевой системе обработки почвы – 4,05 т/га, контроль (отвальная глубокая) – 3,78 т/га, в бинарных посевах при комбинированной глубокой – 4,17 т, контроль – 3,47 т/га.

Основным элементом продуктивности в формировании урожайности ярового ячменя, является количество продуктивных стеблей, сохранившихся к уборке $r = 0,9411^*$. Максимальное количество продуктивных стеблей, сохранившихся к уборке установлено при посеве ярового ячменя в чистом виде при нулевой системе обработки почвы – 397 шт./м² (контроль – 355 шт./м²), в бинарных посевах при комбинированной глубокой – 387 шт./м², контроль 315 шт./м².

Анализ экономических показателей подтверждает эффективность безотвальных и нулевой системы обработки почвы, установлена высокая рентабельность при посеве ярового ячменя при нулевой системе обработки почвы как в бинарных посевах – 189,2%, так и в чистых посевах – 230,9% и низкая себестоимость зерна – 3,11 и 2,72 тыс. руб./т соответственно.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кирюшин В. И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследования / В. И. Кирюшин // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 3-6.
2. Черкасов Г.Н. Теоретические основы формирования агротехнологической политики применения нулевых и поверхностных обработок почвы под зерновые культуры для модернизации земледелия / Г. Н. Черкасов, И. Г. Пыхтин, А. В. Гостев и др. Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ. – 2012. – 76 с.
3. Aguiar T. R. Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: The impact of no-till crops practices / T. R Aguiar, K. Jr. Rasesa, L. Parron, A.G. Brito d, M.T. Ferreira // Agricultural Water Management. – 2014. – 149. – Pp. 74-80.
4. R Islam No-till and conservation agriculture in the United States: An example from the David Brandt farm, Carroll, Ohio / Islam R., Reeder R. // International Soil and Water Conservation Research. – 2014. – No. 2(1). – Pp. 97-107.
5. Nascente A.S. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter / A.S Nascente., Y.C Li., C.A. Crusciol // Soil and Tillage Research. – 2013. – No. 130. – Pp. 52-57.
6. Teravest D. Diversifying conservation agriculture and conventional tillage cropping systems to improve the wellbeing of smallholder farmers in Malawi / D. Teravest, P. R. Wandschneider, C. Thierfelder et al. // Agricultural Systems. – 2019. – No. 171. – Pp. 23-35.
7. Soane B.D. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment / B.D Soane, B.C Ball., J. G. Arvidsson et al. // Soil Tillage Res. – 2012. – No. 118. – Pp. 66-87.
8. Korolev V.A. Changes in the Fertility of a Leached Chernozem under Different Primary Tillage Technologies / V.A. Korolev, A.I. Gromovik, O.K. Borontov // Eurasian Soil Science. – 2016. – No. 1. – Pp. 95-101.
9. Мальцев К. А. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях Европейской части России / К. А., Мальцев, О. П. Ермолаев // Почвоведение. – 2019. – № 12. – С. 1502–1512. DOI:10.1134/S0032180X19120104.
10. Литвин Л. Ф. География динамики земледельческой эрозии почв на Европейской территории России / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирюхина, С. Ф. Краснов и др. // Почвоведение. – 2017. – № 11. – С. 1390–1400. DOI:10.7868/S0032180X17110089.

11. Макаров О.А. Оценка ущерба от деградации почв и земель субъектов Российской Федерации / О.А. Макаров, А. С. Строков, Е. В. Цветнов и др. // Земледелие. – 2020. – № 6. – С. 3-6. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10601.
12. Pittelkova C. M. When does no-till yield more? A global meta-analysis /, B. A. Linqvist, M. E. Lundy et al. // Field crops research. – 2015. – Vol. 183. – Pp. 156-168. doi: 10.1016/j.fcr.2015.07.020.
13. Иванов А. Л. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России / А. Л. Иванов, В. В. Кулинцев, В. К. Дригидер и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – № 4(35). – С. 8-16. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10401.
14. Дубовик Д.В. Эффективность различных способов основной обработки почвы и прямого посева при возделывании озимой пшеницы на черноземных почвах Курской области / Д.В. Дубовик, В. И. Лазарев, А.Я. Айдиев, и др. // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 12. С. 26–29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11205.
15. Государственные стандарты. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества. Москва, издательство стандартов. 1984. – 416 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос. – 1985. – 351 с.
17. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере / О.Д. Сорокин. – Краснообск: ГУППО СЦ РАСХН. – 2004. – 162 с.
18. Юшкевич Л.В. Влияние ресурсосберегающих систем обработки и интенсификации земледелия на элементы плодородия чернозёмных почв и урожайность зерновых культур в лесостепи Западной Сибири / Л.В. Юшкевич, О.В. Хамова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. –2005. – № 3. – С. 9-18.

Список литературы на английском языке/References in English

1. Kiryushin V. I. Problema minimizacii obrabotki pochvy: perspektivy razvitiya i zadachi issledovaniya [The problem of minimizing tillage: prospects for development and research tasks] / V. I. Kiryushin // Zemledelie [Agriculture]. – 2013. – No. 7. – Pp. 3-6. [in Russian]
2. Cherkasov G. N. Teoreticheskie osnovy formirovaniya agrotekhnologicheskoy politiki primeneniya nulevyh i poverhnostnyh obrabotok pochvy pod zernovye kul'tury dlya modernizacii zemledeliya [Theoretical foundations of the formation of agrotechnological policy for the use of zero and surface treatments of soil for grain crops for the modernization of agriculture] / G. N. Cherkasov, I. G. Pykhtin, A.V. Gostev et al. Kursk: GNU VNIIZiZPE [Kursk: GNU VNIIZiZPE]. – 2012. – 76 p. [in Russian]
3. Aguiar T. R. Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: The impact of no-till crops practices / T. R Aguiar, K. Jr. Rasera, L. Parron et al. // Agricultural Water Management. – 2014. – 149. – Pp. 74-80.
4. R Islam No-till and conservation agriculture in the United States: An example from the David Brandt farm, Carroll, Ohio / Islam R., Reeder R. // International Soil and Water Conservation Research. – 2014. – No. 2(1). – Pp. 97-107.
5. Nascente A.S. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter / A.S Nascente., Y.C Li., C.A. Crusciol // Soil and Tillage Research. – 2013. – No. 130. – Pp. 52–57.
6. Teravest D. Diversifying conservation agriculture and conventional tillage cropping systems to improve the wellbeing of smallholder farmers in Malawi / D. Teravest, P. R. Wandschneider, C. Thierfelder et al. // Agricultural Systems. – 2019. – No. 171. – Pp. 23–35.
7. Soane B.D. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment / B.D Soane, B.C Ball., J. G. Arvidsson et al. // Soil Tillage Res. – 2012. – No. 118. – Pp. 66-87.
8. Korolev V.A. Changes in the Fertility of a Leached Chernozem under Different Primary Tillage Technologies / V.A. Korolev, A.I. Gromovik, O.K. Borontov // Eurasian Soil Science. – 2016. – No. 1. – Pp. 95-101.
9. Maltsev K. A. Potencial'nye erozionnye poteri pochvy na pahotnyh zemlyah Evropejskoj chasti Rossii [Potential erosion losses of soil on arable lands of the European part of Russia] / K. A., Maltsev, O. P. Ermolaev // Pochvovedenie [Soil science]. – 2019. – No. 12. – Pp. 1502-1512. DOI:10.1134/S0032180X19120104. [in Russian]
10. Litvin L. F. Geografiya dinamiki zemledel'cheskoj erozii pochv na Evropejskoj territorii Rossii [Geography of dynamics of agricultural soil erosion in the European territory of Russia] / L. F. Litvin, Z. P. Kiryukhina, S. F. Krasnov et al. // Pochvovedenie [Soil science]. – 2017. – No. 11. – Pp. 1390-1400. DOI:10.7868/S0032180X17110089. [in Russian]
11. Makarov O. A. Ocenka ushcherba ot degradacii pochv i zemel' sub"ektov Rossijskoj Federacii [Assessment of damage from degradation of soils and lands of the subjects of the Russian Federation] / O.A. Makarov, A. S. Stokov, E. V. Tsvetnov, D. R. Abdulakhanova, V.S. Krasilnikova, L.S. Shcherbakova // Zemledelie [Agriculture]. – 2020. –No. 6. – Pp. 3-6. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10601. [in Russian]
12. Pittelkova C. M. When does no-till yield more? A global meta-analysis /, B. A. Linqvist, M. E. Lundy et al. // Field crops research. – 2015. – Vol. 183. – Pp. 156-168. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.020.
13. Ivanov A. L. O celesoobraznosti osvoeniya sistemy pryamogo poseva na chernozemah Rossii [On the expediency of mastering the system of direct sowing on the chernozems of Russia] / A. L. Ivanov, V. V. Kulintsev, V. K. Dridiger et al. // Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of agriculture]. – 2021. – № 4(35). – Pp. 8-16. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10401. [in Russian]
14. Dubovik D. V. Effektivnost' razlichnyh sposobov osnovnoj obrabotki pochvy i pryamogo poseva pri vzdelyvanii ozimoy pshenicy na chernozemnyh pochvah Kurskoj oblasti [The effectiveness of various methods of basic tillage and direct sowing in the cultivation of winter wheat on chernozem soils of the Kursk region] / D.V. Dubovik, V. I. Lazarev, A.Ya. Aidiev et al. // Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of agriculture]. – 2019. –Vol. 33. – No. 12. – Pp. 26-29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11205. [in Russian]

- 15 Gosudarstvennye standarty. Semena sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Metody opredeleniya kachestva [State standards. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality]. Moscow, publishing house of standards. 1984. – 416 p. [in Russian]
16. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta [Methodology of field experience] / B.A. Dospekhov. M.: Kolos [M.: Kolos]. – 1985. – 351 p. [in Russian]
17. Sorokin O.D. Prikladnaya statistika na komp'yutere [Applied statistics on a computer] / O.D. Sorokin. – Krasnoobsk: GUPRPO SSHCH RASKHN [Krasnoobsk: GUPRPO SSH RASKHN]. – 2004. – 162 p. [in Russian]
18. Yushkevich L.V. Vliyanie resursosberegayushchih sistem obrabotki i intensivikacii zemledeliya na elementy plodorodiya chernozyomnyh pochv i urozhajnost' zernovyh kul'tur v lesostepi Zapadnoj Sibiri [The influence of resource-saving systems of processing and intensification of agriculture on the elements of fertility of chernozem soils and the yield of grain crops in the forest-steppe of Western Siberia] / L.V. Yushkevich, O.V. Khamova // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki [Siberian Bulletin of Agricultural Science]. –2005. –No. 3. – Pp. 9-18. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.028>

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОДУКТИВНЫХ И ИНТЕРЬЕРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЫЧКОВ РАЗНЫХ ПОРОД

Научная статья

Раджабов Р.Г.^{1,*}, Гак Ю.М.²

^{1,2} Донской государственной аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (Rasim.rg[at]yandex.ru)

Аннотация

В работе приведены результаты изучения роста, мясной продуктивности и качества говядины, полученной от молодняка герефордской (I группа), казахской белоголовой (II группа) и калмыцкой (III группа) пород. Установлено, что при постановке на опыт в 8-месячном возрасте животные II подопытной группы превосходили по живой массе сверстников I и III групп, соответственно, на 4,1 кг и 23,9 кг, в 17 мес - на 16,2 кг и 49,8 кг. Также установили положительную корреляционную связь между живой массой животных в начале и конце откорма с общим белком в сыворотке крови в I группе она составила 0,54-0,64; во II - 0,50-0,67; в III группе - 0,67-0,69, между убойной массой с общим белком в сыворотке крови в I группе она составила 0,47-0,50; во II - 0,49-0,51; в III группе - 0,51-0,53.

Ключевые слова: порода, абсолютный прирост, среднесуточный прирост, откормочные качества, убойные качества, корреляционная связь.

ON THE RELATIONSHIP OF THE PRODUCTIVE AND INTERIOR INDICATORS OF BULLS OF DIFFERENT BREEDS

Research article

Radzhabov R.G.^{1,*}, Gak Yu.M.²

^{1,2} Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (Rasim.rg[at]yandex.ru)

Abstract

The study presents the results of studying the growth, meat productivity, and quality of beef obtained from young Hereford (group I), Kazakh white-headed (group II) and Kalmyk (group III) breeds. It was found that when tested at the age of 8 months, the animals of the II experimental group were superior in live weight to their peers of the groups I and III, respectively, by 4.1 kg and 23.9 kg, at 17 months - by 16.2 kg and 49.8 kg. The study also establishes a positive correlation between the live weight of animals at the beginning and end of fattening with total serum protein; in the first group, it was 0.54-0.64; in the second — 0.50-0.67; in the third, 0.67-0.69; between the slaughter weight with total serum protein in group I, it was 0.47-0.50; in the second - 0.49-0.51; in the third group - 0.51-0.53.

Keywords: breed, absolute growth, average daily growth, fattening qualities, slaughter qualities, correlation.

Введение

Практика и опыт ведения скотоводства свидетельствуют о том, что динамичное развитие отрасли мясного скотоводства определяется совокупностью целого комплекса мер организационного характера, таких как укрепление кормовой базы, внедрение прогрессивных технологий, совершенствование имеющихся и создание новых генотипов животных посредством целенаправленной селекционно-племенной работы [3].

По мнению ряда ученых, экстерьер животных формируется под воздействием генетических и паратипических факторов [1], [8]. Установлено, что рост продуктивности животных на 35-40% детерминировано достижениями в области генетики и селекции. Последнее время селекция мясного скота проводится в направлении улучшения хозяйственно-полезных качеств животных и увеличения выхода мяса в тушах [4].

В настоящее время повсеместно расширяется использование высокопродуктивных пород как отечественного, так и импортного происхождения. Актуальным является необходимость изучения генетического потенциала их продуктивности [5], [7].

Целью научных исследований явилось изучение взаимосвязей продуктивных и интерьерных показателей молодняка крупного рогатого скота разных генотипов. Задачи исследований:

- изучить откормочные и мясные качества молодняка КРС разных генотипов;
- оценить интерьерные особенности животных разного генотипа;
- определить направление и степень корреляционных связей между биохимическими показателями крови и мясной продуктивностью молодняка.

Опыт проведен в хозяйствах Ростовской области на 3 группах бычков с 8-месячного возраста по 10 голов, сформированных по принципу аналогов. В I группу вошли бычки герефордской, во II — казахской белоголовой и в III — калмыцкой пород.

Подопытных бычков в стойловый период содержали по мясной технологии. Кормление молодняка осуществлялось по нормам ВИЖа с получением среднесуточного прироста живой массы 1000 г. В 17-месячном возрасте контрольный убой бычков был проведен на мясокомбинате по 3 головы из каждой группы по методике ВИЖ, ВНИИМП.

Общий белок в сыворотке крови определяли с использованием автоматического биохимического анализатора Stat Faks 1904.

Весь полученный материал обработан биометрически. Степень достоверности имеют следующие обозначения: $P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$; $P < 0,001^{***}$.

Результаты исследований

Молодняк разных пород отличался по живой массе. При постановке на опыт молодняк II группы превосходил по этому показателю сверстников I и III групп, соответственно, на 4,1 кг (1,96%, $P<0,001$) и 23,9 кг (12,56%, $P<0,001$), в 17 мес.—на 16,2 кг (3,53%, $P<0,001$) и 49,8 кг (11,68%, $P<0,001$) (рис. 1).

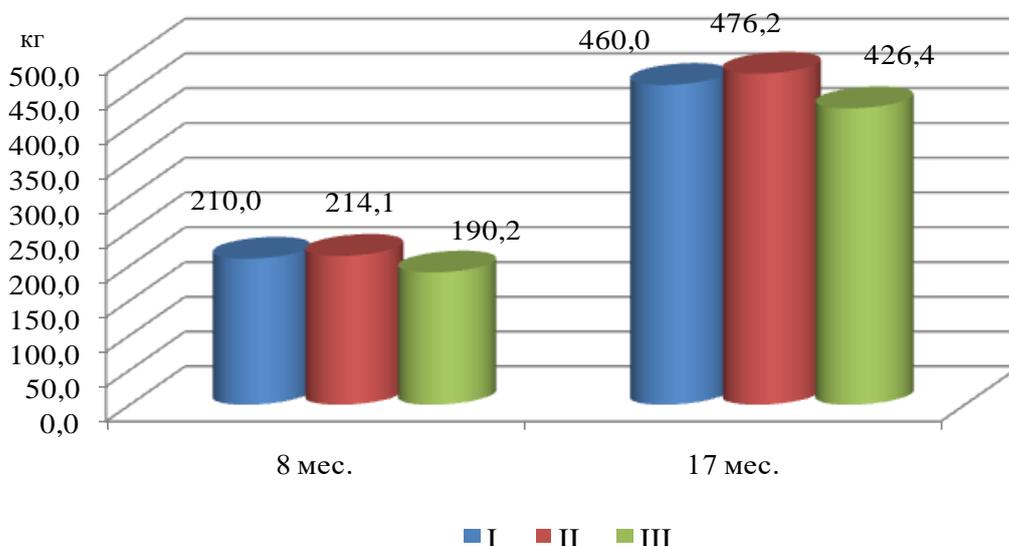


Рис. 1 – Динамика живой массы животных разных групп

Характер изменения живой массы в процессе развития животных возможно контролировать по их абсолютному приросту.

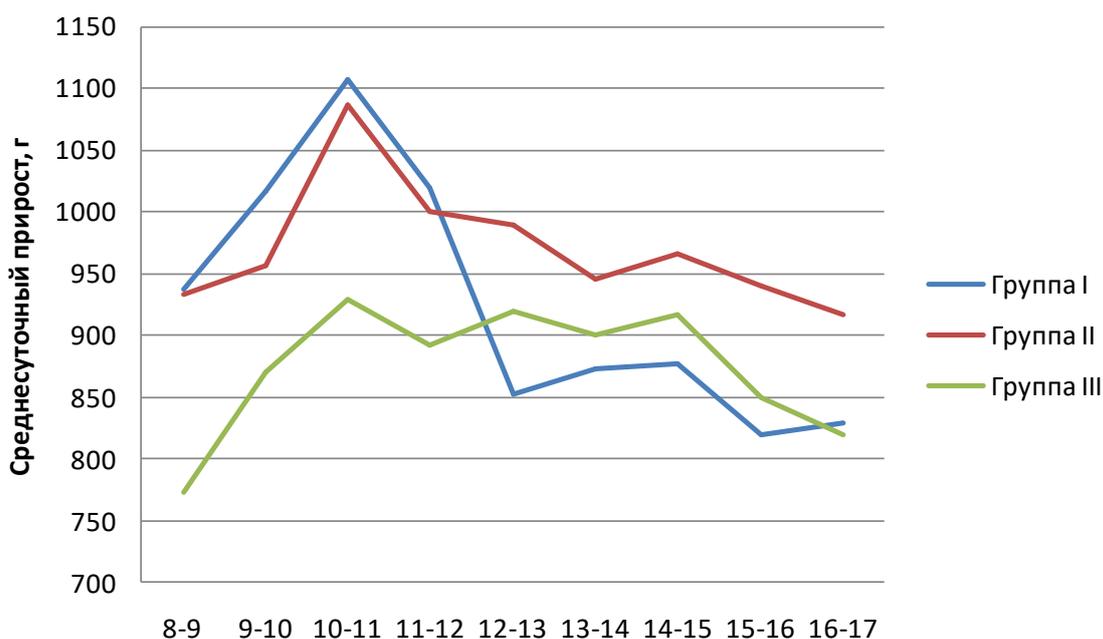


Рис. 2 – Динамика среднесуточного прироста животных разных групп

Анализ показал, что величина абсолютного прироста живой массы бычков варьировала в I группе от 28,1кг в начале откорма до 24,9кг в конце откорма, во II — от 28,0кг до 27,5кг и в III — от 23,2кг до 24,6кг (рис. 2).

При этом абсолютный прирост живой массы молодняка за весь срок откорма во II группе был больше, чем у сверстников в I группе на 12,1 кг(4,84% ($P<0,01$), в III — на 25,9 кг (10,96% ($P<0,01$).

Следует отметить, что более высокие абсолютные приросты зафиксированы у бычков I и II групп в возрасте с 9 до 11 мес., а у животных III гр. — с 9 до 15 мес. Наиболее низкие абсолютные приросты наблюдались у бычков всех подопытных групп в возрасте от 15 до 17 мес.

Среднесуточные приросты, характеризующие интенсивность развития подопытных бычков, были наилучшими также в период от 9- до 11-месячного возраста. Более высокая интенсивность роста у молодняка была зафиксирована в период от 10 до 11 мес в I группе — 1107 г, во II — 1087 г, и в III — 930 г.

Следовательно, среди изучаемых пород наиболее высокой интенсивностью роста обладали бычки казахской белоголовой и герефордской пород.

Известно, что улучшение качества имеющихся и выведение новых пород, линий, типов животных, гарантирующих эффективность производства высококачественной говядины, является одним из важнейших условий

интенсификации мясного скотоводства. При этом основным мериллом эффективности селекционного процесса являются количество и качество мясной продукции, крепость конституции животных и их способность к устойчивому наследованию ценных качеств потомству [9], [10].

Результаты контрольного убоя в возрасте 17 месяцев показали высокую мясную продуктивность животных всех подопытных групп. При этом выявлено, что по массе туш животные II группы превосходили сверстников I и III групп соответственно на 6,88 кг, или 2,7% ($P < 0,05$) и 35,81 кг, или 14,0% ($P < 0,001$). При этом более высокий выход туш был у молодняка I группы в сравнении со сверстниками II и III на 0,61% и 1,81% (табл. 1).

Таблица 1 – Убойные качества бычков ($M \pm m$)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Предубойная масса, кг	445,67±3,41	463,00±3,82	407,00±2,91
Масса туши, кг	248,70±4,63	255,58±3,32	219,77±2,10
Выход туши, %	55,81	55,20	54,00
Масса внутреннего сала, кг	14,90±0,21	13,33±0,30	11,67±0,60
Выход внутреннего сала, %	3,35	2,88	2,87
Убойная масса, кг	263,60±4,84	268,91±3,65	231,43±2,75
Убойный выход, %	59,15	58,08	56,86

Животные I группы по массе внутреннего сала превосходили сверстников II группы и III на 1,57 кг ($P < 0,05$) и 3,23 кг ($P < 0,001$). Выход внутреннего сала у молодняка I группы был выше, чем сверстников II и III групп на 0,47 и 0,48%. По убойной массе животные II группы превосходили сверстников из I и III групп соответственно на 5,31 кг, или 2,01% и 37,48 кг, или 16,20%.

Состав крови молодняка отличался относительным постоянством, что обеспечивает сохранение видовых, породных и индивидуальных особенностей животных [2], [6].

Интерьерные показатели характеризуют уровень продуктивности бычков, состояние их естественной резистентности и имеют немаловажное значение для разработки тестов по оценке племенных и продуктивных качеств животных.

Важной составляющей частью крови животного является белок и его фракции. В наших исследованиях молодняк II группы в возрасте 17 мес по содержанию белка в сыворотке крови превосходил сверстников из I группы на 2,18 ($P < 0,001$) и III — на 3,31% ($P < 0,001$). В крови бычков I группы в сравнении со сверстниками III группы общего белка содержалось больше на 1,1%. ($P < 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание в сыворотке крови подопытных бычков белка и его фракций ($M \pm m$)

Группа	Показатель				
	Общий белок, г/л	глобулины,		альбумины, г/л	
		г/л	% к общему белку	г/л	% к общему белку
<i>8 мес</i>					
I	83,64±0,29	47,34±0,12	56,60	36,30±0,08	43,40
II	85,37±0,24	47,56±0,09	55,71	37,81±0,06	44,29
III	82,28±0,32	47,16±0,15	57,32	35,12±0,11	42,68
<i>17 мес</i>					
I	84,87±0,35*	47,90±0,13	56,44	36,97±0,10	43,56
II	86,72±0,28**	47,89±0,08	55,22	38,83±0,12	44,78
III	83,94±0,31*	47,75±0,11	56,88	36,19±0,06	43,12

В процессе исследований была поставлена цель изучить направление и степень корреляционных связей между интерьерными показателями и продуктивностью молодняка разных генотипов.

Проведенные исследования показали, что определена положительная корреляционная связь между живой массой животных в начале и конце откорма с общим белком в сыворотке крови в I группе она составила 0,54—0,64; во II — 0,50—0,67; в III группе — 0,67—0,69.

Также установлено, что положительными были и связи между абсолютными приростами и концентрацией общего белка у животных I группы (0,65); II — 0,75 и III группы — 0,83, а также между убойной массой с общим белком в сыворотке крови в I группе она составила 0,47—0,50; во II — 0,49—0,51; в III группе — 0,51—0,53.

Следовательно, с увеличением концентрации общего белка в сыворотке крови увеличивается живая масса, абсолютный прирост и убойная масса.

Полученные материалы по взаимосвязи некоторых интерьерных показателей с откормочными и убойными, по нашему мнению, дают возможность использовать выявленные высокие коррелятивные связи в качестве маркеров при селекции животных на повышение уровня мясной продуктивности.

Заключение

Таким образом, изученные материалы по взаимосвязи некоторых интерьерных показателей с откормочными, по нашему мнению, дают возможность использовать выявленные высокие коррелятивные связи в качестве маркеров при селекции животных на повышение уровня мясной продуктивности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Барашкин М. И. Влияние различных факторов на иммунную систему крупного рогатого скота при промышленных технологиях содержания / М.И. Барашкин // *Аграрный вестник Урала*. – 2015. – № 2. – С. 16-19.
2. Баширов В. Д. Мясная продуктивность бычков различных генотипов / В. Д. Баширов М. А. Кизаев, Ю. А. Лапшин // *Научные и практические аспекты повышения производства сельскохозяйственной продукции: Мат. Всеросс. науч.-практ. конф.* – Оренбург, 2004. – С. 14-15.
3. Эффективность производства говядины в Ростовской области / И. Ф. Горлов, О. П. Шахбазова, Р. Г. Раджабов и др. // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2018. – №1. – [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-proizvodstva-govyadiny-v-rostovskoy-oblasti> (дата обращения: 14.10.2020).
4. Особенности роста, развития и мясной продуктивности бычков казахской белоголовой породы разных генотипов / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, А. В. Ранделин и др. // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2016. – № 3. – С. 10-13.
5. Горлов, И. Ф. Эффективность выращивания на мясо бычков специализированных мясных пород / И. Ф. Горлов, Д. А. Ранделин, А. К. Натыров // *Вестник Калмыцкого университета*. – 2013. – № 3 (19). – С. 14-20.
6. Использование генетических ресурсов крупного рогатого скота разного направления продуктивности для увеличения производства говядины на Южном Урале: монография / В. И. Косилов, С. И. Мироненко, Е. А. Никонова, Д. А. Андриенко, Т. С. Кубатбеков. – Оренбург: Издат. центр ОГАУ, 2016. – 315 с.
7. Кайдулина, А. А. Анализ химического состава мяса бычков различных генотипов, выращенных в условиях промышленного комплекса / А. А. Кайдулина, О. В. Останина, Е. В. Карпенко // *Инновационные технологии - основа модернизации отраслей производства и переработки сельскохозяйственной продукции: мат. междунар. науч.-практ. конф. 5-7 июля 2011 г.* - Волгоград, 2011. - Ч. I. - С. 259-263.
8. Основные направления и способы повышения эффективности производства говядины в мясном скотоводстве: монография / В.И. Левахин, И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина и др. – М: Вестник РАСХН, 2006. – 372 с.
9. Повышение эффективности производства говядины в молочном и мясном скотоводстве / В.И. Левахин, В.Д. Баширов, Р.С. Саефов и др. – Казань, 2002. – 330 с.
10. Технология выращивания и откорма крупного рогатого скота / В.И. Левахин и др. – Оренбург-Волгоград, 1998. – 82 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Barashkin M.I. Vliyaniye razlichny`x faktorov na immunnuyu sistemu krupnogo rogatogo skota pri promy`shlenny`x tehnologiyax soderzhaniya [Influence of various factors on the immune system of cattle in industrial technologies of keeping] / M.I. Barashkin // *Agrarny`j vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]*. - 2015. - № 2. - P. 16-19. [in Russian]
2. Myasnaya produktivnost` by`chkov razlichny`x genotipov [Meat productivity of bulls of various genotypes] / V. D. Bashirov, M. A. Kizaev et al. // *Nauchny`e i prakticheskie aspekty` povy`sheniya proizvodstva sel`skokhozyajstvennoj produkcii: Mat. Vseross. nauch.-prakt. konf. [Scientific and practical aspects of increasing agricultural production: Mat. All-Russian Scientific and Practical Conference]* – Orenburg, 2004. – P. 14-15. [in Russian]
3. E`ffektivnost` proizvodstva govyadiny` v Rostovskoy oblasti [Efficiency of beef production in the Rostov region] / I.F. Gorlov, O.P. Shaxbazova, R.G. Radzhabov et al. // *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo [Animal husbandry and feed production]*. – 2018. – №1. – [Electronic resource] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-proizvodstva-govyadiny-v-rostovskoy-oblasti> (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
4. Osobennosti rosta, razvitiya i myasnoj produktivnosti by`chkov kazaxskoj belogolovoj porody` razny`x genotipov [Features of growth, development and meat productivity of Kazakh white-headed bulls of different genotypes] / I. F. Gorlov, M. I. Slozhenkina, A. V. Randelin et al. // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo [Dairy and meat cattle breeding]* . – 2016. – № 3. – P. 10-13. [in Russian]
5. Gorlov, I. F. E`ffektivnost` vy`rashhivaniya na myaso by`chkov specializirovanny`x myasny`x porod [Efficiency of growing specialized meat breeds of bulls for meat] / I.F. Gorlov, D.A. Randelin, A.K. Naty`rov // *Vestnik Kalmy`czkogo universiteta [Bulletin of the Kalmyk University]*. – 2013. – № 3 (19). – P. 14-20. [in Russian]
6. Ispol`zovanie geneticheskix resursov krupnogo rogatogo skota raznogo napravleniya produktivnosti dlya uvelicheniya proizvodstva govyadiny` na Yuzhnom Urale: monografiya [The use of genetic resources of cattle of different productivity directions to increase beef production in the Southern Urals: monograph] / V. I. Kosilov, S. I. Mironenko, E. A. Nikonova et al. – Orenburg: Publishing house OGAU, 2016. – 315 p. [in Russian]
7. Kajdulina, A. A. Analiz ximicheskogo sostava myasa by`chkov razlichny`x genotipov, vy`rashhenny`x v usloviyax promy`shlennogo kompleksa [Analysis of the chemical composition of meat of bulls of various genotypes grown in an industrial complex] / A.A. Kajdulina, O.V. Ostanina, E.V. Karpenko // *Innovacionny`e tehnologii -osnova modernizacii otraslej proizvodstva i pererabotki sel`skokhozyajstvennoj produkcii: mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 5-7 iyulya 2011. [Innovative technologies - the basis for the modernization of agricultural production and processing industries: mat. international scientific and practical conference. July 5-7, 2011]* -Volgograd, 2011. -Ch. I. - P. 259-263. [in Russian]
8. Osnovny`e napravleniya i sposoby` povy`sheniya e`ffektivnosti proizvodstva govyadiny` v myasnom skotovodstve: monografiya [The main directions and ways to improve the efficiency of beef production in beef cattle breeding: monograph] / V.I. Levaxin, I.F. Gorlov, M.I. Slozhenkina et al. – M: Vestnik RASXN, 2006. – 372 p. [in Russian]
9. Povы`shenie e`ffektivnosti proizvodstva govyadiny` v molochnom i myasnom skotovodstve [Improving the efficiency of beef production in dairy and beef cattle breeding] / V.I. Levaxin, V.D. Bashirov, R.S. Sae-tov et al. – Kazan`, 2002. – 330 p. [in Russian]
10. Texnologiya vy`rashhivaniya i otkorma krupnogo rogatogo skota [Technology of growing and fattening cattle] / V. I. Levaxin et al. – Orenburg-Volgograd, 1998. – 82 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.029>

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЛИНИЯ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Научная статья

Романов Б.В.¹, Сорокина И.Ю.^{2,*}¹ Федеральное государственное аграрное научное учреждение «Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Россия;² Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (irin.sorockina[at]yandex.ru)

Аннотация

Мягкая озимая пшеница является основной хлебной культурой для человека и служит кормовой базой для животноводства. Главная задача при возделывании пшеницы, это получить высокий урожай зерна и таким образом поднять валовой сбор. Урожайность определяется многими составляющими: количеством и массой 1000 зёрен, массой зерна, формируемого в колосе, количеством продуктивных побегов на метр квадратный. Поэтому желательное создание, так называемых, сортов интенсивного типа: короткостебельных и высокопродуктивных. Основой для создания таких сортов должны послужить исходные генотипы, обладающие высокой потенциальной продуктивностью. К таковым относятся тетраплоидные *Triticum turgidum* L., *T. polonicum*. В то же время, производителей всё больше интересуют не только высокие урожаи, но и качество зерна. В своё время под воздействием супермутагена N-HMM из так называемого гексаплоидного синтетика «гексаполоникум» (*T. polonicum* AABB + DD) был выделен довольно высокопродуктивный генотип, а потом и линия 2/3-15 мягкой озимой пшеницы. Целью настоящих исследований было оценить производственные и качественные характеристики зерна линии озимой пшеницы 2/13-15 на фоне стародавних и современных сортов. В результате проведённых исследований установлено, что линия 2/3-15 обладает относительной низкорослостью по сравнению со стародавними и районированными сортами мягкой озимой пшеницы. У неё крупный колос и более высокие производственные показатели и, самое главное, у выделенной линии отличные качественные характеристики зерна. В частности, белок свыше 20%, а клейковина достигала более 50%. Относительная низкорослость, превосходные производственные и, особенно, качественные показатели зерна линии 2/3-15, делают её весьма привлекательным и перспективным исходным селекционным материалом.

Ключевые слова: линия мягкой озимой пшеницы 2/3-15, стародавние сорта, современные сорта, производственные показатели, качественная характеристика зерна.

ON A PROMISING LINE OF SOFT WINTER WHEAT

Research article

Romanov B.V.¹, Sorokina I.Yu.^{2,*}¹ Federal Rostov Agricultural Research Center, Rassvet, Russia² Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (irin.sorockina[at]yandex.ru)

Abstract

Soft winter wheat is the main grain crop for humans and serves as a fodder base for animal husbandry. The main task in the cultivation of wheat is to get a high grain yield and thus raise the gross harvest. The yield is determined by many components: the number and mass of 1000 grains, the mass of grain formed in the ear, the number of productive shoots per square meter. Therefore, it is desirable to create so-called intensive varieties: short-stemmed and highly productive. The basis for the creation of such varieties should be the initial genotypes with high potential productivity. These include tetraploid *Triticum turgidum* L., *T. polonicum*. At the same time, producers are increasingly interested not only in high yields but also in the quality of grain. At one time, under the influence of the supermutagen N-HMM, a rather highly productive genotype was isolated from the so-called hexaploid synthetic "hexapolonicum" (*T. polonicum* AABB + DD), and then a line of 2/3-15 soft winter wheat. The purpose of these studies was to evaluate the production and quality characteristics of the grain of the winter wheat line 2/13-15 against the background of traditional and modern varieties. As a result of the conducted research, it was found that the 2/3-15 line has a relative stunting compared to the traditional and zoned varieties of soft winter wheat. It has a large ear and higher production indicators and, most importantly, the selected line has excellent grain quality characteristics. In particular, protein was over 20%, and gluten reached more than 50%. Relative shortgrowing, excellent production and, particularly, quality indicators of the grain line 2/3-15 make it a very attractive and promising starting selection material.

Keywords: the soft winter wheat line 2/3-15, ancient varieties, modern varieties, production indicators, qualitative characteristics of grain.

Введение

Мягкая озимая пшеница является основной хлебной культурой для человека и служит кормовой базой для животноводства. Главная задача при возделывании пшеницы, это получить высокий урожай зерна и таким образом поднять валовой сбор. В этой связи можно отметить, что научная селекция позволила увеличить продуктивность сортов озимой мягкой пшеницы, возделываемых в Нечерноземной зоне, более чем в 10 раз [7]. Урожайность определяется многими составляющими: массой 1000 зёрен, массой зерна в колосе, количеством продуктивных побегов на метр квадратный [1], [10]. Поэтому желательное создание сортов интенсивного типа: короткостебельных и высокопродуктивных. Основой для создания таких сортов, должны послужить исходные генотипы, обладающие высокой потенциальной продуктивностью. В то же время производителей всё больше интересуют не только высокие урожаи, но и сорта, способные насытить рынок более высококачественным зерном, с увеличенным содержанием белка и клейковины [13]. Селекция таких сортов сильно затруднена существующей отрицательной корреляцией между содержанием белка и урожайностью, то есть чем выше урожайность, тем ниже концентрация белка в зерне. Тем не

менее, работы в данном направлении продолжают, и одним из таких возможностей является использование видового разнообразия рода *Triticum*. В своё время нами было показано, что наиболее продуктивными голозёрными тетраплоидами являются представители *T.turgidum* L. и *T.polonicum* L. A^uA^uBB [8]. Следовательно создание на их базе гексаплоидного синтетика ($A^uA^uBB + DD$), соответствующего по своему геномному составу мягкой пшенице *T.aestivum* $AABBDD$ было весьма своевременным. Поэтому выделение из гексаплоидного синтетика «гексаполоникум» после соответствующего воздействия на него супермутагеном N-НММ (нитрозометилмочевина) довольно высокопродуктивного генотипа, а потом и линии 2/3-15 мягкой пшеницы вполне закономерно [7], [9].

Целью настоящих исследований являлась оценка продуктивных и качественных показателей линии 2/13-15 на фоне стародавних и современных сортов мягкой озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования служили перспективная линия мягкой озимой пшеницы 2/3-15 и стародавние известные мягкие пшеницы Мироновская 808 и Безостая 1, а также современные сорта Безостая 100 и Находка.

Все растения выращивали одновременно и в одинаковых условиях на поле ФГБНУ ФРАНЦ (Федеральный Ростовский аграрный научный центр) и УНПК (учебный научно-производственный комплекс) Дон ГАУ на черноземе обыкновенном приазовской зоны Ростовской области. Объектом исследований были 4 сорта озимой мягкой пшеницы и линия 2/3-15. Опыт мелкоделяночный, метод исследования – полевой и лабораторно-полевой. Площадь учетной делянки 5 м² в трехкратной повторности. За контроль был взят сорт озимой пшеницы Безостая 100. Норма высева семян 400 шт./м², глубина посева 5 см. Структурный анализ проводился отдельно по каждому варианту со всей учетной делянки в фазу полной спелости озимой пшеницы. Качественные показатели определяли в лаборатории общих анализов ФГБНУ ФРАНЦ согласно ГОСТам [2], [3]. Математическая обработка однофакторного опыта по стандартной программе Microsoft excel: Statistica 6.0.

Результаты исследований

В результате полевых опытов установлено, что растения линии 2/3-15 существенно ниже по высоте представителей стародавних и современных сортов озимой пшеницы (67,2 см) (рис.1).

Длина колоса у линии 2/3-15, наоборот, была больше, чем у других изучаемых сортов озимой пшеницы и составляла 15,3 см, тогда как у других изучаемых сортов озимой пшеницы она варьировала от 9,6 до 13,1 см (рис. 2).

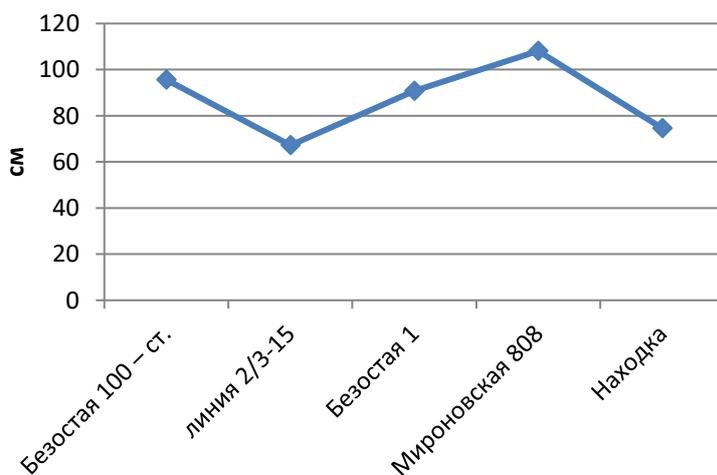


Рис. 1 – Высота растений озимой пшеницы (среднее 2020-2021 гг.)

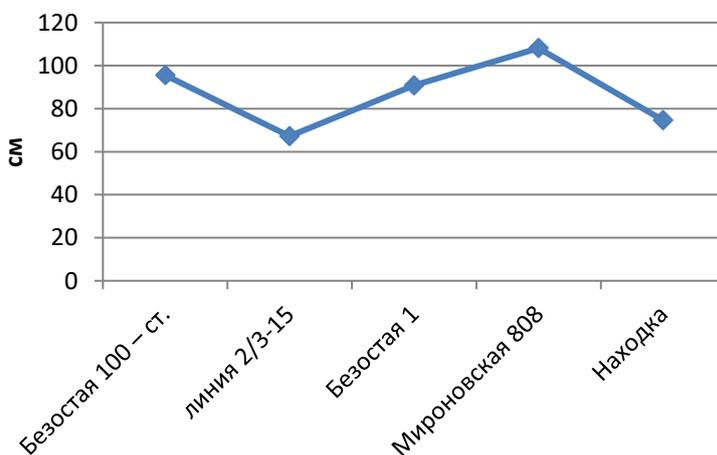


Рис. 2 – Длина колоса озимой пшеницы (среднее 2020-2021 гг.)

Количество растений к уборке по изучаемым вариантам опыта варьировало от 206 шт./м² у сорта Безостая 100 до 236 шт./м² у стандартного сорта Безостая 100. Наибольшее количество продуктивных стеблей отмечено у сорта Находка (366 шт./м²), что на 16 шт./м² больше стандартного сорта (табл. 1).

Длина колоса и число колосков в колосе у представителей линии 2/3-15 значительно больше, чем у других сортов и, как следствие, масса зерна с колоса также была максимальной (3,17 г). Также масса зерна с колоса у линии 2/3-15 достоверно превышает таковую у Безостой 1 (2,78 г), не говоря уже о Мироновской 808 (2,12) г. Поскольку Безостая 1 и Мироновская 808 это стародавние сорта, было крайне интересно сравнить нашу линию с современными сортами и, чтобы прослеживалась логическая взаимосвязь между полученными данными, в качестве современных сортов использовали сорта Находка и Безостая 100. Из таблицы 1 видно, что и эти сорта уступали новой линии озимой пшеницы по массе зерна с колоса (2,62 и 2,56 против 3,17 г).

Таблица 1 – Структура продуктивности сортов озимой мягкой пшеницы (среднее 2020-2021 гг.)

Генотип	Число растений к уборке, шт./м ²	Число продуктивных стеблей, шт./м ²	Количество в колосе, шт.		Масса зерна с колоса, г	Масса зерна	
			колосков	зёрен		см ²	± к стандарту
Безостая 100 – ст.	236	350	22,4	54,7	2,56	896	-
2/3-15	218	346	25,9	74,4	3,17	1097	+201
Безостая 1	206	320	22,7	56,3	2,78	890	-6
Мироновская 808	231	359	22,9	45,3	2,12	761	-135
Находка	229	366	19,1	61,7	2,62	959	+63
НСР ₀₅	11	21	1,0	5,8	0,29	26	

Имея высокие значения по длине колоса, количеству колосков и зерен в колосе, массе зерна с колоса, линия озимой пшеницы 2/3-15 достоверно превосходила все остальные сорта по массе зерна с 1 м². Так, превышение над стандартным сортом Безостая 100 составило 201 г. Сорт Находка превышал стандарт по этому показателю на 63 г.

Стародавние сорта Безостая 1 и Мироновская 808 имели массу зерна с 1 м² меньше стандартного сорта на 6 и 135 г соответственно.

Переходя к качественным показателям зерна, необходимо отметить, опять же, резко выделяющиеся данные линии 2/3-15 (табл.2). В первую очередь, обращает на себя внимание, весьма высокое процентное содержание белка - 20,64%, что на 3,09 % больше, чем у стандартного сорта Безостая 100. Такой высокий процент белка у новой линии озимой пшеницы наверняка определяется вхождением в её состав пшеницы *T.polonicum L.*, у представителей которой он достигает до 20,9% [5]. У других сортов озимой пшеницы содержание белка в зерне варьировало от 13,0 до 15,70 %.

Преимущество линии 2/3-15 над стандартным сортом Безостая 100 по содержанию клейковины в зерне составляет около 30%. Если у сорта Безостая 100 концентрация клейковины 36,22%, и, такие значения характерны для зерна пшеницы первого класса, то у нашей перспективной линии рекордное количество клейковины по сравнению с другими сортообразцами - 51,16%. Самое низкое содержание клейковины было у стародавнего сорта озимой пшеницы Мироновская 808 – 28,52 %.

Таблица 2 – Качественные показатели озимой мягкой пшеницы

Генотип	Белок, %	Клейковина, %	ИДК, ед
Безостая 100 – ст.	17,55	36,22	86
2/3-15	20,64	51,16	94
Мироновская 808	13,00	28,52	93
Безостая 1	15,70	35,87	94
Находка	13,57	32,00	83

Важно, что и ИДК линии 2/3-15 составляет 94 ед., что практически на уровне сортов Мироновская 808 и Находка. Следует подчеркнуть, что значения показателей линии 2/3-15 значительно превышают показатели лучшей в данном наборе сортов, мягкой пшеницы Безостая 100, у которой белок 17,55% и клейковина 36,22%. С другой стороны, такой высокий процент клейковины (51,16 %) указывает на то, что линию 2/3-15, можно возделывать для получения последней, дефицит которой вполне ощутим, и восполняется импортом из-за границы.

Заключение

В результате исследований установлено, что относительная низкорослость, превосходные продукционные и, особенно, качественные показатели зерна линии 2/3-15, с содержанием белка 20,64% и клейковины 51,16%, делают её весьма привлекательным и перспективным исходным селекционным материалом.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ворончихин В. В. Урожайность и элементы структуры урожая коллекции озимой гексаплоидной тритикале в центральном районе Нечерноземной зоны / В. В. Ворончихин, В. В. Пыльнев, В. С. Рубец // Известия Тимирязевской с./х. академии. – 2018. – С. 69-81. DOI: 10/26897/0021-342-2018-1-69-81.
2. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка – Москва: Стандартиформ, 2009.
3. ГОСТ Р 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. – Москва: Стандартиформ, 2012.
4. Создание и изучение интрогрессивных линий мягкой пшеницы, полученных на основе синтетической формы RS7 / Р. О. Давоян, И. В. Бебякина, Э. Р. Давоян и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019; 23(7): – С. 827-835 DOI: 10.18699/VJ19.556.
5. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. Ф. Трифонова, А. Х. Заверюха и др. – М.: Колос, 1996. – 336 с.
6. Дорофеев В. Ф. Пшеницы мира. / В. Ф. Дорофеев и др. – М.: Агропромиздат, 1987. – 559 с.
7. Романов Б. В. Высокопродуктивная форма из пшеницы гексаполоникум / Б. В. Романов, Г. А. Козлечков, С. Ф. Таран // V Международный симпозиум «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования» 9-14 июня 2003г Пушкино. – М.:Изд.РУДН, 2003,Т.II. – С. 392-394.
8. Романов Б. В. Введение в феномономику количественных признаков рода TRITICUM./ Б. В. Романов // п.Персиановский. – 2010. – 136 с.
9. Романов Б. В. Перспективные линии мягкой и шарозёрной пшениц / Б. В. Романов, Л. А. Черногор, В. И. Медведева // Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Приоритетные направления развития сельскохозяйственной науки и практики в АПК» п.Персиановский. – 2021. – С.147-152.
10. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты / Б. И. Сандухадзе, Р. З. Мамедов, М. С. Крахмалёва и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2021; 25(4). – С. 367-373 DOI: 10/18699/VJ21/53-0.

11. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана / А. И. Стасюк, И. Н. Леонова, М. Л. Пономарёва и др. // Сельскохозяйственная биология. – 2021. №1. – С. 78-91.

12. Генетическое разнообразие и селекционная ценность синтетической гексаплоидной пшеницы, привлеченной в коллекцию ВИР/ А. Г. Хакимова, Н. К. Губарева, В. А. Кошкин., и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019; 23(6). – С. 738-745. DOI: 10.18699/VJ19.548.

13. Vitale J. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat / J. Vitale, B. Adam, P. Vitale / *Agronomy*. 2020; 10(2), – 238 p. DOI: 10.3390/agronomy 10020238.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Voronchikhin V. V. Urozhaynost i elementy struktury urozhaya kollektzii ozimoy geksaploidnoy tritikale v tsentralnom rayone Nechernozemnoy zony [Yield and elements of the structure of the harvest of the collection of winter hexaploid triticale in the central district of the non-chernozem zone]. / V. V. Voronchikhin, V. V. Pylnev, V. S. Rubets // *Izvestiya Timiryazevskoy s./kh. Akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy]. – 2018; 1. – pp. 69- 81. DOI 10/26897/0021-342-2018-1-69-81. [in Russian]

2. GOST 10846-91. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya belka [Grain and products of its processing. Method of protein determination]. – Moscow: Standartinform, 2009. [in Russian]

3. GOST R 54478-2011. Zerno. Metody opredeleniya kolichestva i kachestva kleykoviny v pshenitse. [Grain. Methods for determining the quantity and quality of gluten in wheat]. – Moscow: Standartinform, 2012. [in Russian]

4. Sozdaniye i izucheniye introgressivnykh liniy myagkoy pshenitsy. poluchennykh na osnove sinteticheskoy formy RS7 [Creation and study of introgressive lines of soft wheat obtained on the basis of the synthetic form rs7] / R. O. Davoyan, I. V. Bebyakina, E. R. Davoyan, et al. // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Selection]. – 2019. – 23(7). – pp. 827-835 DOI: 10.18699/VJ19.556. [in Russian]

5. Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. / V. F. Moiseichenko, M. F. Trifonova, A. X. Zaveryukha et al. – M.: Kolos, 1996. – 336 p. [in Russian]

6. Dorofeyev V. F. Pshenitsy mira [Wheat of the world]. / V. F. Dorofeyev. – M.: Agropromizdat. – 1987. – 559 p. [in Russian]

7. Romanov B. V. Vysokoproduktivnaya forma iz pshenitsy geksapolonikum [Highly productive form of wheat hexadonicum] / Romanov B.V., Kozlechkov G.A., Taran S.F./ V International Symposium "New and non-traditional plants and prospects for their use" June 9-14, 2003 Pushchino. – M.: Publishing house RUDN, 2003. – Vol.II. – pp. 392-394. [in Russian]

8. Romanov B. V. Vvedeniye v fenomogenomiku kolichestvennykh priznakov roda TRITICUM [Introduction to the phenogenomics of quantitative features of the genus TRITICUM]. / B. V. Romanov // P.Persianovsky. – 2010. – 136 p. [in Russian]

9. Romanov B. V. Perspektivnyye linii myagkoy i sharozernoy pshenits [Perspective lines of soft and sharozer wheat] / B. V. Romanov, L. A. Chernogor, V. I. Medvedeva // *Materials of the all-Russian (national) scientific and practical conference "Priority directions for the development of agricultural science and practice in the agro-industrial complex, p.Persianovsky, – 2021. – P.147-152. [in Russian]*

10. Nauchnaya selektsiya ozimoy myagkoy pshenitsy v Nechernozemnoy zone Rossii: istoriya. metody i rezultaty [Scientific selection of winter soft wheat in the non-chernozem zone of Russia: history, methods and results] / B. I. Sandukhadze, R. Z. Mammadov, M. S. Krakhmaleva et al. // *Wavilov Journal of Genetics and Breeding*. – 2021. – 25(4). – pp. 367-373. DOI: 10/18699/VJ21/53-0. [in Russian]
11. Fenotipicheskaya izmenchivost selektsionnykh liniy myagkoy pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) po elementam struktury urozhaya v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoy Sibiri i Tatarstana [Phenotypic Variability of Selection Lines of Soft Wheat (*Triticum aestivum* L.) on the elements of the structure of the harvest in the ecological conditions of Western Siberia and Tatarstan] / A. I. Stasyuk, I. N. Leonova, M. L. Ponomareva et al. // *Selskokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural biology]. – 2021. – No1. – pp. 78-91. [in Russian]
12. Geneticheskoye raznoobraziye i selektsionnaya tsennost sinteticheskoy geksaploidnoy pshenitsy. privlechennoy v kolleksiyyu VIR [Genetic diversity and selection value of synthetic hexaploid wheat, attracted to the collection of VIR] / A. G. Khakimova, N. K. Gubareva, V. A. Koshkin et al. // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilovsky journal of genetics and selection]. – 2019. – 23(6). – pp. 738-745. DOI: 10.18699/VJ19.548. [in Russian]
13. Vitale J. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat / J. Vitale, B. Adam, P. Vitale / *Agronomy*. – 2020. – 10(2). – 238 p. DOI: 10.3390/agronomy 10020238.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.030>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ

Научная статья

Симоненко С.В.¹, Антипова Т.А.^{2*}, Фелик С.В.³, Андросова Н.Л.⁴, Кудряшова О.В.⁵

¹ ORCID: 0000-0002-6999-5048 ;

² ORCID: 0000-0002-0365-4806;

³ ORCID: 0000-0003-2877-8984;

⁴ ORCID: 0000-0002-9838-3614;

⁵ ORCID: 0000-0002-6634-3685;

^{1, 2, 3, 4, 5} Научно-исследовательский институт детского питания – Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, Истра, Россия

* Корреспондирующий автор (science[at]niidp.ru)

Аннотация

Комплексная переработка вторичного сырья является наиболее эффективным путем оптимизации производства. Наибольший интерес в этом плане вызывает переработка молочной сыворотки, которая является ценным источником таких пищевых ингредиентов как: сывороточные белки, лактоза, минеральные вещества, широко используемые в специализированных продуктах питания. Использование компонентов сыворотки способствует повышению пищевой ценности и улучшению биологических и функциональных свойств специализированных пищевых продуктов. Технологии получения белковых и углеводных ингредиентов связаны с применением мембранных способов обработки сырья, позволяющих осуществлять глубокую переработку сырья без нарушения структуры продукта; создавать новые виды продуктов стабильного качества; повышать эффективность производства при экономии ресурсов; создавать безотходное производство и гарантировать экологическую безопасность.

Ключевые слова: сыворотка, сывороточные белки, лактоза, специализированные продукты.

THE USE OF WHEY COMPONENTS FOR THE PRODUCTION OF SPECIALIZED FOOD PRODUCTS

Research article

Simonenko S.V.¹, Antipova T.A.^{2*}, Felik S.V.³, Androsova N.L.⁴, Kudryashova O.V.⁵

¹ ORCID: 0000-0002-6999-5048;

² ORCID: 0000-0002-0365-4806;

³ ORCID: 0000-0003-2877-8984;

⁴ ORCID: 0000-0002-9838-3614;

⁵ ORCID: 0000-0002-6634-3685;

^{1, 2, 3, 4, 5} Scientific Research Institute of Baby Food — Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology, Istra, Russia

* Corresponding author (science[at]niidp.ru)

Abstract

Complex processing of secondary raw materials is the most effective way to optimize production. The greatest interest in this regard is caused by the processing of whey, which is a valuable source of such food ingredients as whey proteins, lactose, minerals widely used in specialized food products. The use of serum components helps increase the nutritional value and improve the biological and functional properties of specialized foods. Technologies for the production of protein and carbohydrate ingredients are associated with the use of membrane methods for processing raw materials, allowing for deep processing of raw materials without disturbing the structure of the product; creating new types of products of stable quality; increasing production efficiency while saving resources; creating waste-free production and guaranteeing environmental safety.

Keywords: whey, whey proteins, lactose, specialized products.

При производстве молочных продуктов, комплексная переработка вторичного сырья является наиболее эффективным путем оптимизации производства. Наибольшее внимание в этом плане заслуживает переработка подсырной или творожной сыворотки. Интерес предприятий молочной промышленности к производству и переработке сыворотки имеет стойкую положительную динамику [1]. Возможность полной переработки сыворотки дает возможность производителям получать разнообразные по структуре и свойствам продукты, а также лекарственные препараты. Научные исследования, проводимые в России и за рубежом в области переработки вторичного молочного сырья и получаемые по ним результаты, не дают полной уверенности предприятиям для организации производства молочной сыворотки. Наиболее важными причинами, сдерживающими рост активного производства сыворотки, являются: недостаточные материальные ресурсы в развитие молочной отрасли, ограниченная возможность средств на внедрение новейших технологий и используемого оборудования, нехватка актуальной информация о достоинствах продуктов, полученных из молочной сыворотки в структуре питания людей, ведущих здоровый образ жизни, а также незначительный ассортимент в торговой сети аналогичных продуктов.

Несмотря на сложившиеся условия и сдерживающие причины при переработке вторичного молочного сырья, для перерабатывающих предприятий – производство молочной сыворотки представляет одно из приоритетных направлений. Однако, организация глубокой переработки сыворотки, требующая значительных капитальных и финансовых вложений, может быть осуществлена лишь на крупных предприятиях. [2].

Уникальность физико-химического состава и присущих молочной сыворотке свойств, во многом определяет возможные пути ее переработки, основными из которых направлены на производство продуктов питания. Наиболее приоритетными в этом направлении является производство продуктов питания из подсырной сыворотки.

Согласно проведенным аналитическим исследованиям, в Российской Федерации наиболее востребованными видами продукции, производимыми из сыворотки, являются сухая деминерализованная сыворотка и белковые концентраты. Это в целом совпадает с мировыми трендами, представленными зарубежными компаниями на Российском Рынке. Несмотря на сложность ситуации, сложившейся в молочной отрасли, производство компонентов, полученных из молочной сыворотки в России неуклонно растет [3].

Высокая пищевая ценность молочной сыворотки, обусловленная присутствием таких ингредиентов как: белки (сывороточные), молочный сахар (лактоза), комплекс макро-и микроэлементов, позволяет широко использовать ее в производстве продуктов специализированного питания. Одним из наиболее перспективных направлений является применение компонентов, полученных из сыворотки в продуктах для питания детей, особенно первого года жизни. Использование белков сыворотки в специализированных продуктах обусловлено их преимуществом в составе смесей для искусственного вскармливания детей первого года жизни и необходимостью оптимизации аминокислотного состава продукта. Сывороточные белки являются основным источником незаменимых аминокислот, необходимых для роста и развития ребенка. В структуре сывороточных белков преобладают мелкодисперсные фракции, способные к легкой ферментации и быстрому усвоению, что особенно важно в процессе транзитной ферментативной незрелости желудочно-кишечного тракта ребенка первого года жизни.

Согласно Технического регламента ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» на долю сывороточных белков должно приходиться не менее 50% от общего белка – в смесях для питания детей с рождения до 6 месяцев и с рождения до 12 месяцев; не менее 35% - в молочных смесях для питания детей с 6-и месяцев; 20% - в частично адаптированных молочных смесях, предназначенных для питания детей старше 6 месяцев.

Технологии получения белковых концентратов связаны с применением мембранных способов обработки молочного сырья. Мембранные технологии позволяют осуществлять глубокую переработку сырья без нарушения структуры; создавать современные виды продукции стабильного качества; повышать эффективность производства при экономии ресурсов; создавать рентабельное производство и гарантировать экологическую безопасность.

Наиболее перспективными направлениями, применяемыми в переработке молочной сыворотки, являются методы ультра- и нанофильтрации, позволяющие получать сывороточные концентраты и изоляты, с различной массовой долей белка [4].

Широкое применение белковых и углеводных компонентов, полученных из сыворотки способствует повышению не только пищевой и биологической ценности создаваемого продукта, но также придает ему функциональную направленность. Наряду с применением компонентов сыворотки в пищевой промышленности, активными их потребителями являются фармацевтическая отрасль, ветеринария, косметология и др. [5], [6].

Перспективным направлением на сегодняшний день являются технологические способы получения сывороточных белков в нативном состоянии с применением ультрафильтрации. Такие технологические приемы позволяют белкам максимально сохранить исходные свойства, качественный и количественный фракционный состав сывороточных белков, без снижения биологической ценности. В совокупности это позволяет существенно расширить сферу их применения с учетом дальнейшего включения в рецептуры и технологии продуктов для диетического, лечебно-профилактического назначения людей различных возрастных групп и продуктов для питания детей. Аналогичные способы получения и обработки сывороточных белков довольно широко распространены за рубежом, что подтверждается результатами научных исследований. В течении последних лет в России также проводятся фундаментальные и прикладные работы в данном направлении исследований.

Следуя принципам здорового питания, следует сделать акцент на все большей популярности у населения таких продуктов, как напитки, полученные на основе молочной сыворотки. Производство данных видов продукции может быть организовано на действующих молочных комбинатах, без значительного технического и технологического переоснащения, дополнительных капитальных вложений и затрат, реально приводящих к увеличению себестоимости продукции. Данный факт несомненно является обоснованием для успешного проведения дальнейших исследований по проблеме использования и переработки вторичного молочного сырья [3].

Наибольшую долю в составе сухих веществ сыворотки составляет молочный сахар – лактоза. Совокупность уникальных физико-химических свойств, а также высокая пищевая ценность молочного сахара, во много определяют возможность ее использования в различных отраслях пищевой промышленности. Технологические возможности предприятий позволяют применять молочный сахар при производстве разнообразных продуктов питания. Такие отрасли как: молочная, мясная, масложировая, отрасль продуктов быстрого приготовления, пищевых добавок применяют как правило сухую лактозу, которая в зависимости от органолептических и физико-химических показателей может быть: рафинированной, пищевой и технической (сырец). В фармацевтике используют преимущественно фармакопейную лактозу, как связующий компонент, при производстве таблетированных препаратов. Широкое применение лактоза получила в биотехнологии при производстве продуктов, предназначенных для больных сахарным диабетом; различных биологически активных добавок, витаминных препаратов, используемых в кормлении животных. Лактоза является основным сырьем при получении олигосахарида – лактулозы, обладающий бифидогенным эффектом, а также полифункциональным компонентом, позволяющим производителям расширять ассортимент продуктов, обладающих полезными для здоровья качествами и пользующихся популярностью [7].

Производство молочного сахара из вторичного сырья полностью отвечает требованиям концепции безотходного производства, что является частью решения вопросов по сохранению экологии окружающей среды. Реализация концепции направлена на получение важнейшего углевода и его производных, необходимых для организации производства оптимальных по составу и свойствам продуктов питания, а также для осуществления технических целей [8].

Производство кристаллической лактозы в общей технологической цепи молочного сахара, имеет ряд существенных недостатков: длительность и трудоемкость проведения технологического процесса, обязательность процесса предварительной подготовки сырья [9], [10], [11]. При этом, следует отметить, что в отдельных отраслях

промышленности, таких как: молочная, кондитерская, хлебобулочная, микробиологическая, применение концентрированного раствора молочного сахара более предпочтительно, что связано со стоимостными показателями компонента и менее сложным процессом переработки сырья. Наиболее актуальными методами выделения молочного сахара из вторичного сырья признаны баромембранные технологии, позволяющие получать по составу продукт стабильного качества [12].

В составе продуктов питания детей лактоза применяется с целью оптимизации состава углеводного компонента и корректировки органолептических показателей. Согласно требованиям, предъявляемым к продуктам для детского питания содержание лактозы должно составлять не менее 65% (в адаптированных смесях для питания детей с рождения до 6 месяцев) и 50% (в последующих адаптированных смесях для питания детей с 6-и месяцев). Основными физиологическими эффектами, которыми обладает лактоза, следует отметить следующие: положительное влияние на абсорбцию минеральных веществ в кишечнике детей, развитие бифидо- и лактобацилл, угнетающих размножение ряда условно-патогенных и патогенных микроорганизмов [13].

При использовании методов мембранной обработки сыворотки при получении белковых и углеводных компонентов происходит изменение минерального состава сырья и, как следствие удаление ряда микро-и макроэлементов. Это с одной стороны, позволяет регулировать состав сывороточных концентратов для дальнейшего использования и, в том числе, для создания новых продуктов различного назначения [14]. Однако обессоливание сыворотки приводит к потере ценных микро-и макроэлементов, которые потенциально могут быть использованы в качестве пищевой добавки при обогащении специализированных продуктов.

В своем составе сыворотка содержит 8÷10 % минеральных веществ в пересчете на сухое вещество. Однако для использования в детских смесях из нее требуется удалить 90-95 % минеральных веществ [15]. При проведении электродиализа из сыворотки удаляются такие макро-и микроэлементы, как: калий, натрий, кальций, магний, фосфор, количество которых требуется восполнять в дальнейшем при разработке продуктов. Наиболее целесообразным с этой точки зрения представляется проведение научных исследований по разработке пищевых добавок, включающих различные минеральные вещества в оптимальных сочетаниях и разнообразии с целью дальнейшего применения в специализированных продуктах детского питания.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Перспективные направления развития исследований по переработке молочной сыворотки / Н. Г. Догарева, М. Б. Ребезов, О. В. Ткачук и др. // Молодой ученый. – 2015. – № 14 (94). – С. 149-151.
2. Храмов А. Г. Безотходная переработка молочного сырья / А. Г. Храмов, П. Г. Нестеренко // М.: КолосС. – 2008. – 200 с.
3. Волкова Т. А. Перспективные направления переработки молочной сыворотки / Т. А. Волкова // Переработка молока. – 2014. – № 5. – С. 6-9.
4. Токаев Э.С. Современный опыт и перспективы использования препаратов сывороточных белков в производстве функциональных напитков / Э. С. Токаев, Е. Н. Баженова, Р. Ю. Мироедов // Молочная промышленность. – 2007. – №10. – С.55-56.
5. Тамим А. И. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов / А. И. Тамим (ред.-сост.). Пер. с англ. // СПб.: Профессия. - 2016. – С. 245-248.
6. Щетинин М. П. Производство и переработка молочной сыворотки в России и Алтайском крае / М. П. Щетинин, А. С. Дорохова // Ползуновский вестник. -2013. - № 4-4. - С.80-84.
7. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы / С. А. Рябцева, А. Г. Храмов, Р. О. Будкевич и др. // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89. - №2. – С.5-15.
8. Лактоза и ее производные / Б. М. Синельников, А. Г. Храмов, И. А. Евдокимов и др. // СПб.: Профессия. – 2007. – 768 с.
9. Патент 2360006 РФ, С1, С13К5/00, А23С21/00. Способ производства молочного сахара из соленой сыворотки / Евдокимов И.А., Дыкало Н.Я., Пермьяков А.В., Смирнов Е.Р. (Россия). Заявлено 02.06.2008. Опубликовано 27.06.2009.
10. Патент 2464321 РФ, С2, С13К5/00, А23С21/00. Способ производства молочного сахара / В. Г. Куленко, Е. А. Фиалкова, Е. М. Костюков и др. (Россия). Заявлено 20.12.2010. Опубликовано 20.10.2012.
11. Патент 2474622 РФ, С1, С13К5/00. Способ производства молочного сахара / Топал О.И., Башанов О. С. (Россия). Заявлено 07.07.2011. Опубликовано 10.02.2013
12. Разработка баромембранной технологии переработки молочной сыворотки / В.А. Тимкин, Л.А. Минухин, И.П. Гальчак и др. // Аграрный вестник Урала. – 2013. – №7 (113). – С. 35-37.
13. Руководство по детскому питанию/ Под ред. В. А. Тутельян, И. Я. Конь.- М.: Медицинское информационное агентство, 2004. – 662 с.
14. Пономарёв А. Н. Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов / А. Н. Пономарёв, Е. И. Мельникова, Е. В. Богданова // Молочная промышленность. – 2018. – №7. – С. 38-39.
15. Burling H. Whey processing: Demineralization. / H. Burling // Encyclopedia of Dairy Sciences. – Lund; Arlafoods Innovation, 2002. – P. 2745-2751.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Perspektivnye napravleniya razvitiya issledovaniy po pererabotke molochnoj syvorotki [Promising directions for the development of research on the processing of whey] / N. G. Dogareva, M. B. Rebezov, O. V. Tkachuk et al. // Molodoj uchenyj [young scientist]. – 2015. – № 14 (94). – P. 149-151. [in Russian]

2. Hramcov A. G. Bezothodnaya pererabotka molochnogo syr'ya [Waste-free processing of dairy raw materials]/ A. G. Hramcov, P. G. Nesterenko // M. :KolosS. – 2008. – 200 p. [in Russian]
3. Volkova T. A. Perspektivnye napravleniya pererabotki molochnoj syvorotki [Promising directions of whey processing] / T.A.Volkova // Pererabotka moloka [Milk processing]. – 2014. – № 5. – pp. 6-9. [in Russian]
4. Tokaev E.S. Sovremennyy opyt i perspektivy ispol'zovaniya preparatov syvorotochnyh belkov v proizvodstve funkcional'nyh napitkov [Modern experience and prospects of using whey protein preparations in the production of functional beverages]/ E.S.Tokaev, E.N.Bazhenova, R.YU.Miroedov // Molochnaya promyshlennost' [dairy industry]. – 2007. – №10. – P.55-56. [in Russian]
5. Tamim A. I. Membrannyye tekhnologii v proizvodstve napitkov i molochnyh produktov [Membrane technologies in the production of beverages and dairy products] / A.I. Tamim ed. Per. s angl. // SPb.: Professiya. – 2016. – P. 245-248. [in Russian]
6. SHCHetinin M. P. Proizvodstvo i pererabotka molochnoj syvorotki v rossii i altajskom krae [Production and processing of whey in Russia and the Altai Territory]/ M. P. SHCHetinin, A. S. Dorohova // Polzunovskij vestnik [Polzunovsky Bulletin]. – 2013. – № 4-4. – P.80-84. [in Russian]
7. Fiziologicheskie efekty, mekhanizmy dejstviya i primenenie laktulozy [Physiological effects, mechanisms of action and use of lactulose]/ S.A. Ryabceva, A.G. Hramcov, R.O. Budkevich et al. // Voprosy pitaniya [Nutrition issues]. – 2020. – vol. 89. – №2. – pp.5-15. [in Russian]
8. Laktoza i ee proizvodnye [Lactose and its derivatives] / B. M. Sinel'nikov, A. G. Hramcov, I. A. Evdokimov et al. // SPb. : Professiya. – 2007. – 768 p. [in Russian]
9. Patent 2360006 RF, S1, S13K5/00, A23C21/00. Sposob proizvodstva molochnogo sahara iz solenoy syvorotki [Method of production of milk sugar from salted whey]/ I. A. Evdokimov, N. YA. Dykalo, A. V. Permyakov et al. (Russian). Zayavleno 02.06.2008. Opublikovano 27.06.2009
10. Patent 2464321 RF, S2, C13K5/00, A23C21/00. Sposob proizvodstva molochnogo sahara [Method of production of milk sugar]/ V. G. Kulenko, E. A. Fialkova, E. M. Kostyukov et al. Belozherova (Russian). Zayavleno 20.12.2010. Opublikovano 20.10.2012.
11. Patent 2474622 RF, S1, S13K5/00. Sposob proizvodstva molochnogo sahara [Method of production of milk sugar]/ Topal O.I., Bashanov O.S. (Russian). Zayavleno 07.07.2011. Opublikovano 10.02.2013
12. Razrabotka baromembrannoj tekhnologii pererabotki molochnoj syvorotki [Development of baromembrane technology of whey processing] / V. A. Timkin, L. A. Minuhin, I. P. Gal'chak et al. // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. – 2013. – №7 (113). – pp. 35-37. [in Russian]
13. Rukovodstvo po detskomu pitaniyu [Baby Food Guide] / ed. V. A.Tutel'yana, I. YA.Konya.- M.:Medicinskoe informacionnoe agentstvo, 2004. – 662 p. [in Russian]
14. Ponomaryov A. N. Molochnaya syvorotka kak syr'evoy resurs dlya proizvodstva pishchevyh ingredientov [Whey as a raw material resource for the production of food ingredients] / A. N. Ponomaryov, E. I. Mel'nikova, E. V. Bogdanova // Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry]. – 2018. – №7. – pp. 38-39. [in Russian]
15. Burling H. Whey processing: Demineralization. Encyclopedia of Dairy Sciences: Arlafoods Innovation / H/ Burling. – Lund, Sweden, 2002. – pp. 2745-2751.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.031>

ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРОЧНЫХ ТРУБОК В СРЕДНЕ-УРАЛЬСКОМ ТАЕЖНОМ ЛЕСНОМ РАЙОНЕ

Научная статья

Сураев П.Н.¹, Азаренок В.А.², Залесов С.В.^{3,*}, Михайлов Ю.Е.⁴, Фомин В.В.⁵

¹ ORCID: 0000-0001-7842-9219;

² ORCID: 0000-0002-5430-4259;

³ ORCID: 0000-0003-3779-410X;

⁴ ORCID: 0000-0003-3467-0654;

⁵ ORCID: 0000-0002-9211-5627;

^{1, 2, 3, 4, 5} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

Проанализированы достоинства выборочных рубок спелых и перестойных насаждений. Отмечается, что их проведение способствует рациональному использованию выращиваемой древесины. Обеспечивает постоянство выполнения насаждениями защитных функций. Снижает конкуренцию между деревьями за питательные вещества и свет.

В то же время широкому внедрению выборочных рубок в Средне-Уральском таежном лесном районе препятствует ограниченная площадь трелевочных волоков – 15 %. Последнее не позволяет эффективно использовать на выборочных рубках высокопроизводительные многооперационные машины.

Объединение в один лесной район насаждений, произрастающих в горных и равнинных условиях не позволяет объективно установить относительную полноту древостоев после проведения рубки и создает конфликтные ситуации между лесопользователями и контролирующими органами.

Строгое ограничение видов выборочных рубок спелых и перестойных насаждений исключает возможность применения оригинальных способов рубок, хорошо зарекомендовавших себя как в районе исследований, так и в других регионах страны и за ее пределами.

Ключевые слова: Средне-Уральский таежный лесной район, рубки спелых и перестойных насаждений, подрост, состав древостоя, запас, выборочные рубки.

ON THE PROBLEMS OF THE MIDDLE URALS FOREST DISTRICT

Research article

Suraev P.N.¹, Azarenok V.A.², Zalesov S.V.^{3,*}, Mikhaylov Yu.E.⁴, Fomin V.V.⁵

¹ ORCID: 0000-0001-7842-9219;

² ORCID: 0000-0002-5430-4259;

³ ORCID: 0000-0003-3779-410x;

⁴ ORCID: 0000-0003-3467-0654;

⁵ ORCID: 0000-0002-9211-5627;

^{1, 2, 3, 4, 5} The Ural state forest engineering university, Ekaterinburg, Russia

* Corresponding author (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Abstract

The advantages of mature and over mature stands selective felling were analyzed in the article. It is noted that their carrying out is facilitated by rational use of grown wood ensures the constancy of the plantings performing protective functions, reduces competition between trees for nutrients and light.

At the same time, the limited area of skidder trailers only 15 % hinders the wide introduction of selective logging in the Middle Urals taiga forest region. The latter doesn't allow efficient use of high-performance multi operational machines for selective cutting.

Merging into one forest region the plantations growing in mountainous and flat conditions does not allow for objectively establishing relative compactness of forest stands after felling and create conflict situations between forest users and regulatory authorities.

Strict restriction of selective felling types of mature and over mature plantations excludes the possibility of using original felling methods. Well established both in the study area and in other regions of the country and beyond.

Keywords: Middle Urals Taiga Forest district, felling of mature and overmature stands, undergrowth, stand composition, deposit, selective felling.

Введение

Основной научно-обоснованный вид ведения лесного хозяйства является правильный выбор способа рубок спелых и перестойных насаждений. Именно от вида рубок зависит лесовосстановление на пройденных рубками площадях, а также состав, производительность и устойчивость будущих насаждений [1], [2]. Известно [3], [4], что несмотря на ряд достоинств сплошнолесосечные рубки имеют существенные недостатки. К последним, прежде всего, следует отнести опасность нежелательной смены пород, нерациональное использование ресурсов, особенно при проведении рубок в разновозрастных древостоях, а также утрату насаждениями защитных функций с момента проведения рубки до перевода образовавшейся вырубki в покрытые лесной растительностью земли. Указанное привело к тому, что действующими нормативно-правовыми документами [5] сплошнолесосечные рубки спелых и перестойных насаждениях в лесах защитного целевого назначения запрещены.

В защитных лесах рекомендуется проведение одного из следующих видов выборочных рубок спелых и перестойных насаждений: добровольно-выборочный, группово-выборочный, равномерно-постепенный, группово-постепенный, длительно-постепенный, чересполосный постепенный и комбинированный выборочный. Особое значение при этом имеет правильный выбор вида (способа) выборочных рубок, максимально учитывающий функциональное назначение защитных лесов.

Целью наших исследований являлось установление причин, сдерживающих широкомасштабное применение выборочных рубок спелых и перестойных насаждений в защитных и эксплуатационных лесах Средне-Уральского таежного лесного района.

Объекты и методика исследований

Объектом исследований служили спелые и перестойные насаждения, пройденные выборочными рубками. При проведении исследований обращалось внимание на технологию проведения работ, сохранность подроста и формирование второго яруса древостоя.

При проведении исследований использовался метод пробных площадей. Пробные площади закладывались с учетом широко известных апробированных методик [6], [7], что в сочетании со значительным объемом анализируемого материала позволяло надеяться на получение репрезентативных выводов и рекомендаций.

Результаты и обсуждение

Несмотря на несомненные преимущества выборочных рубок спелых и перестойных насаждений их доля в общем объеме заготавливаемой древесины остается крайне низкой. Одной из причин этого являются действующие правила заготовки древесины [5]. Согласно указанным правилам общая доля трелевочных волоков при выборочных рубках не должна превышать 15 % от площади лесосеки. Учитывая, что максимальный вылет стрелы манипулятора тяжелого харвестера не превышает 12,5 м можно легко определить, что обеспечение указанной доли площади трелевочных волоках можно добиться лишь при условии применения сложных комбинированных технологий проведения лесосечных работ [8], [19]. Однако использование указанных технологий приводит к резкому снижению производительности труда на лесосечных работах и утомляемости операторов валочных машин.

Анализ разработки лесосек многооперационными машинами позволяет рекомендовать увеличение площади волоков при выборочных рубках до 20 % при условии проведения их в зимний период при промерзшем грунте и укреплении трелевочных волоков порубочными остатками. Указанное обеспечит защиту от повреждений корней, оставляемых после первого приема деревьев.

Стоит отметить, что операторам длительное время работающим на сплошнолесосечных рубках, психологически очень сложно перейти на равномерно-постепенные или добровольно-выборочные рубки. В данном случае следует, при наличии возможностей, проводить чересполосные постепенные рубки, при которых в намеченных в рубку полосах вырубятся все деревья.

В качестве примера лесоводственной эффективности различных способов рубок спелых и перестойных насаждений в производных березовых насаждениях можно привести пробные площади, заложенные на лесосеках чересполосной постепенной, равномерно-постепенной и сплошнолесосечной с предварительным лесовосстановлением рубок. Таксационная характеристика древостоев пробных площадей до проведения рубок приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Таксационная характеристика древостоев пробных площадей до проведения рубок спелых и перестойных насаждений

№ ПП	Состав древостоя*	Возраст, лет	Средние		Полнота	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
			высота, м	диаметр, см			
1	8Б2Е+Лп	100	25	24	0,6	190	II
2	6Б1Ос1Е1С1П	90	22	22	0,7	200	III
3	6Б1Ос1Е1С1П	90	22	22	0,7	200	III
4	6Б1Ос1Е1С1П	90	22	23	0,7	210	III

Примечание: *Б – береза, Е – ель, Ос – осина, С – сосна, П – пихта

Материалы таблицы 1 свидетельствуют, что доля березы варьируется до рубки от 60 до 80 %, при этом примесь хвойных пород составляет 20-30 %. Другими словами, насаждения до рубки имели близкие таксационные показатели.

Спустя 10 лет после проведения завершающего приема указанных видов рубок молодняки, сформировавшиеся из подроста предварительной и последующей генераций, характеризовались следующими показателями (табл. 2).

Таблица 2 – Таксационная характеристика молодняков, сформировавшихся спустя 10 лет после завершающего приема различных видов рубок спелых и перестойных насаждений в производных березняках

№ ПП	Ярус	Состав	Возраст, лет	Средние		Полнота		Густота, шт./га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
				высота, м	диаметр, см	абсолютная, м ² /га	относительная			
3-х приемная чересполосная постепенная рубка										
1	1	51П	55	9,0	9,4	7,4		1076	34	
		39Е	55	7,8	8,5	5,1		908	26	
		9Лп		10,0	10,4	1,0		114	6	
		1Б						22	1	
		Итого		8,6	9,1	13,8	0,64	2120	67	V
2-х приемная чересполосная постепенная рубка										
2	1	45Е	55	9,2	10,9	5,5		583	32	
		39П	55	7,9	9,6	6,2		857	28	
		13ЛП		8,1	9,6	1,6		214	9	
		3Б				0,4		36	2	
		Итого		8,6	10,3	13,7	0,63	1690	71	V
Равномерно-постепенная рубка										
3	1	80Б	100	22,5	23,1	13,3		294	118	
		14Е		20,1	20,9	2,2		62	21	
		6П		20,1	20,5	1,4		43	9	
Итого I ярус				22,0	22,6	16,9	0,49	399	148	III
	2	57П	50	7,8	8,8	8,9		1463	47	
		35Е	50	7,5	8,5	5,3		926	29	
		5Лп				0,7		69	4	
		3Б				0,3		31	2	
Итого II ярус				7,7	8,7	15,2	0,75	2489	82	V
Сплошнолесосечная рубка										
4	1	56Б	15	7,4	8,1	3,5		672	19	
		41Е	50	7,7	8,4	3,2		572	14	
		3П				0,3		22	1	
		Итого		7,5	8,2	7,0	0,35	1266	34	III

Сравнение таксационных показателей древостоев на пробных площадях показало, что при проведении чересполосных постепенных рубок, как двух-, так и трехприемных, уже через 10 лет из подроста предварительной генерации формируются хвойные молодняки с относительной полнотой 0,63 и 0,64 при запасе стволовой древесины 67-71 м³/га.

Равномерно-постепенные рубки после проведения первого приема формируют двухъярусные насаждения. При этом в первом ярусе доминирует береза, а во втором пихта и ель. Таксационные показатели древостоев после проведения равномерно-постепенных рубок свидетельствуют, что необходимо проведение второго приема рубки, что позволит дополнительно заготовить 150 м³/га товарной древесины.

При проведении сплошнолесосечных рубок картина меняется. После рубки формируются березняки с примесью ели и пихты, что свидетельствует о значительно меньшей ценности сформированных древостоев. Таким образом, проведение выборочных рубок обеспечивает формирование более ценных, по сравнению с таковыми после сплошнолесосечных рубок. При этом практически отсутствует понятие вырубка, а следовательно, выборочные рубки позволяют сохранить насаждениями защитные экологические функции. Указанное свидетельствует о перспективности выборочных рубок.

Сдерживающим фактором внедрения выборочных рубок является возникновение конфликтных ситуаций между лесопользователями, выполняющими заготовку древесины и контролирующими органами. Известно [5], что основным требованием правильности проведения выборочных рубок, помимо соблюдения лесоводственного принципа назначения деревьев в рубку, является относительная полнота оставляемого после очередного приема рубки древостоя. В данном случае лесоводственная эффективность рубки во многом зависит от точности таблиц стандартных значений сумм площадей сечений и запасов на 1 га нормативных древостоев основных лесобразующих пород.

Согласно лесорастительного районирования [10] территория Свердловской области разделена на 6 округов, 8 провинций и три лесорастительные области. Последнее не удивительно, поскольку область включает равнинное Предуралье, горную часть и равнинное Зауралье. Исходя из этих особенностей были составлены вышеуказанные таблицы стандартных значений [11]. Однако действующими нормативно-правовыми документами территория области разделена на два лесных района [12] даже без упоминания о горной части. Следовательно, для горных сосняков Среднего Урала и равнинных Припышминских сосняков должны применяться единые таблицы. Однако в Нормативных документах даже не указывается какие. В результате применяются различные таблицы, что и приводит к конфликтным ситуациям. В частности, согласно таблиц стандартных значений сумма площадей сечений на 1 га в нормальных горных

сосновых древостоях при средней высоте 20 м составляет 40,0 м², а в равнинных 38,5 м². Естественно, что при этом сумма площадей поперечных сечений при относительной полноте 0,5 будет существенно различаться.

На необходимость изменения лесохозяйственного районирования лесов Урала указывали и другие авторы [13], [14].

Планируя выборочные рубки, следует учитывать, что их проведение требует более высокой, по сравнению со сплошнолесосечными рубками квалификации исполнителей [15], [16]. Кроме того, создавая вертикальную сомкнутость крон древостоев выборочные рубки повышают пожарную опасность, а также способствуют накоплению подроста ели и пихты под пологом сосновых древостоев. Указанное может привести к нежелательной смене пород.

Особо следует отметить недопустимость проведения добровольно-выборочных рубок в одновозрастных светлохвойных насаждениях. Поскольку подрост лиственницы и сосны не выдерживает затенение материнским пологом даже при его относительной полноте 0,5 в пройденных такими рубками древостоях происходит накопление подроста темнохвойных пород, что экономически не всегда оправдано или разрастание живого напочвенного покрова, минимизирующее накопление подроста. В конечном счете на месте высокопроизводительных сосновых или лиственничных древостоев формируются редины.

Выводы

1. Переход со сплошных на выборочные рубки спелых и перестойных насаждений способствует более рациональному использованию лесных ресурсов и обеспечению выполнения насаждениями защитных функций.
2. Широкому внедрению выборочных рубок препятствует несовершенство нормативно-правовых документов.
3. В целях расширения возможностей применения на выборочных рубках высокопроизводительной многооперационной техники необходимо увеличить допустимую площадь трелевочных волоков до 20 %.
4. Средне-Уральский таежный лесной район целесообразно разделить на три подрайона, что позволит более точно устанавливать минимально допустимую относительную полноту древостоев после рубки.
5. В сосновых насаждениях свежих и периодически влажных типов леса выборочные рубки способствуют смене сosenяков на ельники, что не всегда оправдано с экономической точки зрения.
6. Список способов рубок спелых и перестойных насаждений следует расширить, включив апробированные на Урале каймовые рубки.

Работа выполнена в рамках темы FEUG-2020-ООВ «Экологические аспекты рационального природопользования».

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Мелехов И. С. Лесоводство / И. С. Мелехов. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 324 с.
2. Залесов С. В. Лесоводство / С. В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – 295 с.
3. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала / С. Г. Казанцев, С. В. Залесов и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. – 156 с.
4. Сортиментная заготовка древесины / В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, С.В. Залесов и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 140 с.
5. Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации: Утв. Приказом Минприроды России от 01.12.2020 г. № 993.
6. ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. – 60 с.
7. Основы фитомониторинга / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – 90 с.
8. Справочник сортиментных технологий заготовки древесины на базе многооперационных машин на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / С. В. Залесов, В. А. Азаренок, Э. Ф. Герц и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. 2009. – 88 с.
9. Рекомендации по сортиментной заготовке древесины многооперационными машинами на территории Свердловской области / В. А. Азаренок, С. В. Залесов, Э. Ф. Герц и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. 2010. – 67 с.
10. Колесников Б. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б. П. Колесников, Р. С. Зубарева, Е. П. Смолоногов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. – 177 с.
11. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства Свердловской области. – Екатеринбург: Поволжское гос. лесоустр. предпр. 1995. – 525 с.
12. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: Утв. Приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367.
13. Годовалов Г. А. Районирование лесов Свердловской области / Г. А. Годовалов, С. В. Залесов, Е. Н. Лежнина // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 8 (87). – С. 35-36.
14. Годовалов Г. А. К вопросу о необходимости уточнения перечня лесных районов Свердловской области / Г. А. Годовалов, С. В. Залесов и др. // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – № 3 (58). – С. 12-19.
15. Герц Э. Ф. Повышение лесоводственной эффективности несплошных рубок путем оптимизации валки назначенных в рубку деревьев / Э. Ф. Герц, С. В. Залесов // Лесное хозяйство. – 2003. № 5. – С. 18-20.
16. Рациональные параметры технических элементов пасеки для манипуляторных лесозаготовительных машин / Ю. Н. Безгина, Э. Ф. Герц, С. В. Залесов и др. // Хвойные бореальной зоны. – 2018. – № 36. № 4. – С. 338-343.

Список литературы на английском / References in English

1. Melekhov I. S. Lesovodstvo [Forestry] / I. S. Melekhov. – М.: GOU VPO MGUL, 2005. – 324 p. [in Russian]

2. Zalesov S.V. Lesovodstvo [Forestry] / S. V. Zalesov. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2020. – 295 p. [in Russian]
3. Kazancev S.G. Optimizaciya lesopol'zovaniya v proizvodnyh be-reznyakah Srednego Urala [Optimization of forest management in derivative birch forests of the Middle Urals] / S.G. Kazancev, S.V. Zalesov, A.S. Zalesov. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2006. – 156 p. [in Russian]
4. Sortimentnaya zagotovka drevesiny [Cut-to-length timber harvesting] / V. A. Azarenok, E.F. Gerc, S.V. Zalesov et al. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2015. – 140 p. [in Russian]
5. Pravila zagotovki drevesiny i osobennosti zagotovki drevesiny v lesnichestvah, ukazannyh v stat'e 23 Lesnogo kodeksa Rossijskoj Federacii: Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 01.12.2020 g. № 993. [Timber harvesting rules and features of timber harvesting in forest areas specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation: Approved. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 1, 2020 No. 993.] [in Russian]
6. OST 56-69-83 Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod za-kladki. – M.: CBNTILeskhov, 1984. – 60 p. [OST 56-69-83 Trial forest management areas. bookmark method. – M.: TsBNTILeskhov, 1984. – 60 p.] [in Russian]
7. Osnovy fitomonitoringa [Fundamentals of phytomonitoring] / N. P. Bun'kova, S. V. Zalesov, E. S. Zalesova et al. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2020. – 90 p. [in Russian]
8. Spravochnik sortimentnyh tekhnologij zagotovki drevesiny na ba-ze mnogooperacionnyh mashin na territorii Hanty-Mansijskogo avto-nomnogo okruga – YUgry [Directory of cut-to-length technologies for wood harvesting based on multi-operational machines on the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra] / S.V. Zalesov, V.A. Azarenok, E.F. Gerc et al. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t. 2009. – 88 p. [in Russian]
9. Rekomendacii po sortimentnoj zagotovke drevesiny mnogoopera-cionnymi mashinami na territorii Sverdlovskoj oblasti [Recommendations for cut-to-length timber harvesting by multi-operational machines in the territory of the Sverdlovsk region] / V.A. Azarenok, S.V. Zalesov, E.F. Gerc et al. – Ekaterinburg: Ural. gos. leso-tekhn. un-t. 2010. – 67 p. [in Russian]
10. Kolesnikov B.P. Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverd-lovskoj oblasti [Forest conditions and types of forests in the Sverdlovsk region] / B.P. Kolesnikov, R.S. Zubareva, E.P. Smolonogov. – Sverdlovsk: UNC AN SSSR, 1974. – 177 p. [in Russian]
11. Osnovnye polozheniya organizacii i vedeniya lesnogo hozyajstva Sverdlovskoj oblasti [The main provisions of the organization and management of forestry in the Sverdlovsk region]. – Ekaterinburg: Povolzhskoe gos. lesoustr. predpr. 1995. – 525 p. [in Russian]
12. Ob utverzhenii Perechnya lesorastitel'nyh zon Rossijskoj Fe-deracii i Perechnya lesnyh rajonov Rossijskoj Federacii: Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 18.08.2014 g. № 367. [On the approval of the List of Forest Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation: Approved. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated August 18, 2014 No. 367.] [in Russian]
13. Godovalov G.A. rajonirovanie lesov Sverdlovskoj oblasti [Zoning of forests in the Sverdlovsk region] / G. A. Godovalov, S. V. Zalesov, E. N. Lezhnina // Agrarnyj vestnik Urala. 2011. № 8 (87). – pp. 35-36. [in Russian]
14. K voprosu o neobhodimosti utochneniya perechnya lesnyh rajonov Sverdlovskoj oblasti [To the question of the need to clarify the list of forest areas of the Sverdlovsk region] / G.A. Godovalov, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova et al. // Lesa Rossii i hozyajstvo v nih [Forests of Russia and the economy in them]. – 2016. – № 3 (58). – pp. 12-19. [in Russian]
15. Gerc E. F. Povyshenie lesovodstvennoj effektivnosti nesplosh-nyh rubok putem optimizacii valki naznachennyh v rubku derev'ev [Increasing the silvicultural efficiency of non-clear cuts by optimizing the felling of trees assigned to felling] / E. F. Gerc, S. V. Zalesov // Lesnoe hozyajstvo [Forestry]. – 2003. – № 5. – pp. 18-20. [in Russian]
16. Racional'nye parametry tekhnicheskikh elementov paseki dlya manipulyatornyh lesozagotovitel'nyh mashin [Rational parameters of the technical elements of the apiary for manipulator logging machines] / YU. N. Bezgina, E. F. Gerc, S. V. Zalesov et al. // Hvojnye boreal'-noj zony [Conifers of the boreal zone]. – 2018. – № 36. № 4. – pp. 338-343. [in Russian]