

**Естественные
и
технические
науки[®]**

№ 9 (220) 2026 г.

ISSN 1684-2626

**Журнал «Естественные и технические науки» входит
в Перечень ВАК РФ и Международную базу данных
и систему цитирования Chemical Abstracts.**

Журнал публикует основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и на соискание ученой степени доктора наук по естественным и техническим наукам. В соответствии с пунктом 5 Правил издания, текущие номера которых или их переводные версии входят хотя бы в одну из международных реферативных баз данных и систем цитирования, считаются включенными в Перечень по отраслям науки, соответствующим их профилю. При рассмотрении вопроса о присвоении ученого звания публикации соискателя ученого звания в данных изданиях засчитываются в качестве научных трудов, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень (на основании пункта 5 Правил формирования перечня рецензируемых научных изданий, утвержденных приказом Минобрнауки России от 12.12.2016 № 1586, и письма Минобрнауки МН-06.2/1059 от 08.11.2018).

Учредитель – Издательство «Спутник+»

Компьютерный набор и верстка – Д. Абдулвахидова

Адрес редакции: 109428, Москва, Рязанский проспект, д. 8А, стр. 1

Телефон: (495) 730-47-74, 778-45-60, 730-48-71 (с 9 до 18, обед с 14 до 15)

E-mail: print@sputnikplus.ru

**Издание зарегистрировано
Министерством Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций**

**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-39983 от 20 мая 2010 г.**

Объем 31,38 печ. л.
Тираж 1000 экз. Заказ № 248.
Подписано в печать 30.09.2026.

Отпечатано в ООО «Издательство «Спутник+»

Порядок направления, рецензирования и опубликования научных статей

На основании решения редакционной коллегии журнала
«Естественные и технические науки» № 03 от 01.12.08 утвержден следующий
Порядок рецензирования статей, поступивших в редакцию журнала:

1. Статью необходимо направлять на электронный или почтовый адрес редакции. Поступающая в редакцию статья рассматривается на предмет соответствия профилю журнала, требованиям к оформлению и регистрируется с присвоением ей индивидуального номера. Редакция в течение 3-х дней уведомляет авторов о получении рукописи статьи. Рукописи, оформленные не должным образом, не рассматриваются.

2. Рукописи всех статей, поступивших в редакцию журнала, подлежат обязательному рецензированию. К рецензированию привлекаются ученые, доктора наук, обладающие неоспоримым авторитетом в сфере научных знаний, которой соответствует рукопись статьи, имеющие в течение последних 3-х лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет. Рецензентом не имеет права быть автор (или один из авторов) рецензируемой статьи. Рецензенты информируются о том, что рукописи статей являются частной собственностью их авторов и представляют собой сведения, исключающие их разглашение и копирование.

3. В случаях, когда редакция журнала не располагает возможностью привлечь к рецензированию эксперта подходящего уровня в сфере знаний, к которой имеет отношение рукопись, редакция обращается к автору с просьбой предоставить внешнюю рецензию. Внешняя рецензия предоставляется при подаче статьи (что, тем не менее, не исключает принятый порядок рецензирования). Рецензии обсуждаются редколлегией, являясь причиной для принятия или отклонения рукописей. Рукопись, адресуемая в редакцию, также может сопровождаться письмом из направляющей организации за подписью ее руководителя.

4. Рецензия должна беспристрастно давать оценку рукописи статьи и заключать в себе исчерпывающий разбор ее научных достоинств и недостатков. Рецензия составляется по предлагаемой редакцией форме или в произвольном виде и должна освещать следующие моменты: научную ценность результатов исследования, актуальность методов исследования и статистической обработки данных, уровень изучения научных источников по теме, соответствие объема рукописи статьи в целом и отдельных ее элементов в частности, т.е. текста, таблиц, иллюстраций, библиографических ссылок. В завершающей части рецензии необходимо изложить аргументированные и конструктивные выводы о рукописи и дать ясную рекомендацию о необходимости либо публикации в журнале, либо переработки статьи (с перечислением допущенных автором неточностей и ошибок).

5. Если в рецензии на статью сделан вывод о необходимости ее доработки, то она направляется автору на доработку вместе с копией рецензии. При несогласии автора с выводами рецензента, автор вправе обратиться в редакцию с просьбой о повторном рецензировании или отозвать статью (в этом случае делается запись в журнале регистрации). Тогда новой датой поступления в редакцию журнала доработанной статьи считается дата ее возвращения. Доработанная статья направляется на повторное рецензирование тому же рецензенту. Редакция журнала оставляет за собой право отклонения рукописи статьи в случае неспособности или нежелания автора учесть пожелания рецензента.

6. Срок рецензирования между датами поступления рукописи статьи в редакцию и вынесения редколлегией решения в каждом отдельном случае определяется ответственным секретарем с учетом создания условий для максимально оперативной публикации статьи, но не более 2-х месяцев со дня получения рукописи.

7. Рецензии на статьи предоставляются редакцией экспертным советам в ВАК по их запросам.

8. Редакция журнала не сохраняет рукописи статей, не принятые к публикации. Рукописи статей, принятые к публикации, не возвращаются.

9. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

Главный редактор: Хавкин А.Я.

Редакционная коллегия журнала:

А.Я. Хавкин

главный редактор, доктор технических наук, профессор Российского государственного университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Российского государственного социального университета, Удмуртского государственного университета, Университета в городе Линьи (КНР), Почетный нефтяник РФ, Почетный работник Губкинского университета, лауреат премий Миннефтепрома СССР, им. академика И.М. Губкина НТО НГП, двух премий им. Н.К. Байбакова, кавалер медали ЮНЕСКО «За вклад в развитие нанонауки и нанотехнологий» и медали Минэнерго РФ «За заслуги в развитии топливно-энергетического комплекса России» 1 степени, Первый вице-президент Нанотехнологического общества России

Т.П. Анцупова

доктор биологических наук, профессор кафедры неорганической и аналитической химии Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Почетный работник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления

А.И. Белолюбцев

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева

С.С. Валеев

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики Уфимского государственного авиационного технического университета

И.А. Гарагаш

доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией геомеханики Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, член Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике

О.А. Графский

доктор технических наук, профессор кафедры цифровых технологий и инженерной графики Дальневосточного государственного университета путей сообщения

А.В. Дерюгина

доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии и анатомии, заместитель директора по научной работе Института биологии и биомедицины, ведущий научный сотрудник лаборатории по разработке методов нейротекции Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

В.А. Завьялов

доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и электроснабжения Национального исследовательского Московского государственного строительного университета

С.Н. Золотухин

доктор биологических наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии, эпизоотологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, декан факультета ветеринарной медицины и биотехнологии Ульяновского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Заслуженный деятель науки и техники Ульяновской области

И.И. Иванов

доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории общей биофизики кафедры биофизики биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, лауреат Государственной премии СССР (1983)

Е.А. Калашиникова	доктор биологических наук, профессор кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева
Ю.Г. Калпин	доктор технических наук, профессор кафедры кузовостроения и обработки давлением Московского государственного технического университета «МАМИ»
В.Ф. Касьянов	доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технической эксплуатации зданий Московского государственного строительного университета, Заслуженный работник высшей школы РФ, Почетный работник профессионального высшего образования РФ, Почетный строитель России и г. Москвы, Почетный работник ЖКХ России
Т.А. Краснова	доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой аналитической химии и экологии Кемеровского технологического института пищевой промышленности, Почетный работник Высшей школы, Заслуженный эколог РФ
Т.В. Мальцева	доктор физико-математических наук, профессор, зам. директора по науке и инновациям Строительного института Тюменского индустриального университета
Л.Г. Моисейкина	доктор биологических наук, профессор Калмыцкого государственного университета им. Б.Б. Городовикова, Почетный работник высшего образования РФ
А.Н. Николаев	доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования пищевых производств Казанского государственного технологического университета, профессор кафедры теоретических основ теплотехники Казанского государственного технического университета
Ю.Р. Осипов	доктор технических наук, профессор кафедры теории и проектирования машин и механизмов Вологодского государственного технического университета, Почетный работник высшего образования РФ
О.А. Решетник	доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии пищевых производств Казанского государственного технологического университета, член Общества биотехнологов России им. Ю.А. Овчинникова, член Российского отделения Общества микробиологов, Заслуженный деятель науки и техники Республики Татарстан
О.И. Ручкина	доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения Пермского национального исследовательского политехнического университета
Ф.Н. Сарапулов	доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и электротехнологических систем Уральского государственного технического университета
Н.С. Снегирева	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института прикладной механики РАН, изобретатель СССР
В.В. Стогний	доктор геолого-минералогических наук, профессор Кубанского государственного университета

<i>Д.И. Стом</i>	доктор биологических наук, профессор кафедры гидробиологии и зоологии беспозвоночных Иркутского государственного университета, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института биологии при Иркутском государственном университете, Изобретатель СССР, Заслуженный работник высшей школы РФ
<i>А.В. Ткачев</i>	доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ветеринарной медицины Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, старший научный сотрудник
<i>С.К. Тойгамбаев</i>	доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, академик аграрных наук Республики Казахстан
<i>А.В. Хортов</i>	доктор геолого-минералогических наук, профессор, научный сотрудник Института Океанологии РАН им. П.П. Ширшова
<i>А.А. Хусаинов</i>	доктор физико-математических наук, профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, Почетный работник высшего профессионального образования РФ
<i>Т.А. Цехмистренко</i>	доктор биологических наук, профессор кафедры анатомии человека медицинского факультета Российского университета дружбы народов, Почетный работник высшего профессионального образования РФ
<i>В.Я. Шапиро</i>	доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры высшей математики Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии
<i>В.Н. Шапран</i>	доктор технических наук, профессор кафедры двигателей Рязанского военного автомобильного института

Уважаемые подписчики!

Вы можете подписаться на любой из наших журналов. Подписка производится как в России, так и за ее пределами.

Подписные индексы наших журналов:

- 1. «Актуальные проблемы современной науки» – № T1080**
- 2. «Аспирант и соискатель» – № T1076**
- 3. «Вопросы гуманитарных наук» – № T1072**
- 4. «Естественные и технические науки» – № ПН215**
- 5. «Педагогические науки» – № T1079**
- 6. «Современные гуманитарные исследования» – № T1077**

СОДЕРЖАНИЕ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Компьютерные науки и информатика

Искусственный интеллект и машинное обучение

- Истратова Е.Е., Томилов И.Н. (Новосибирский государственный технический университет)
Разработка программного обеспечения для разделения и анализа музыкальных произведений 13
- Разаков М.А. (Национальный исследовательский университет «МЭИ»; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук)
Аппаратная реализация систем обеспечения микроклимата с искусственным интеллектом 16
Некоторые вопросы применения следящих инфракрасных камер искусственного интеллекта для систем обеспечения микроклимата 22

**Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

- Постников В.М., Спиридонов С.Б. (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)), Юрчик П.Ф. (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ))
Анализ системы ремонтник с умеренной неэкспоненциальной загрузкой службы ремонта 28

Химические науки

Неорганическая химия

- Мутузова М.Х., Байсангурова А.А., Дешиев М.-Э.М. (Чеченский государственный университет имени Ахмата Абдулхамидовича Кадырова)
Химический синтез оксидных вольфрамовых бронз бериллия 39

Биологические науки

Физиология человека и животных

- Ананьев В.Н. (Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук), Ананьев Г.В. (АО «Фармстандарт», г. Долгопрудный), Торшин В.И. (Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы), Прокопьев Н.Я. (Тюменский государственный университет), Ананьева О.В. (Тюменский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации), Хромина С.И. (Тюменский индустриальный университет), Гуртовой Е.С. (Тюменский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации), Филимонова В.С. (Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина)
Механизмы регуляции альфа-1 и альфа-2 адренорецепторов артерий при функциональной рабочей мышечной гиперемии 43

Биотехнология

Архипов А.А. (Московский политехнический университет; МИРЭА – Российский технологический университет), Соколов А.С., Шумова Н.В. (МИРЭА – Российский технологический университет), Даянова Д.Д. (Московский политехнический университет), Козлов А.В. (МИРЭА – Российский технологический университет), Голованов И.Ю. (Московский политехнический университет)

Перспективы развития аппаратного оформления био- и химико-технологических процессов..... 48

Генетика

Кегадуев И.А., Паритов А.Ю., Боготова З.И., Гогузов Т.Х., Чепракова А.А., Хандохов Т.Х. (Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)

Идентификация молекулярных маркеров, сцепленных с локусами количественных признаков устойчивости к фузариозной гнили початков кукурузы..... 52

Микробиология

Волков В.В., Сивкова Д.С., Николенко М.В. (Тюменский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации)

Механизмы гемолитической активности Candida albicans: от молекулярных факторов к стратегии выживания..... 60

Экология

Машанова Ю.О. (Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова)

Анализ выбросов загрязняющих атмосферу веществ от сварочных аппаратов..... 65

Технический и биологический этапы рекультивации нарушенных земель в результате добычи россыпного золота..... 71

Нурмехамитова В.А., Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А. (Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан; Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ), Тунакова Ю.А. (Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ; Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан)

Нейросетевая модель для расчета приземных концентраций оксидов азота в атмосферном воздухе и анализа комплекса обуславливающих факторов..... 76

Нурмехамитова В.А., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р. (Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан; Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ), Тунакова Ю.А. (Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ; Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан)

Определение условий для осуществления наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в рамках контрольных мероприятий на основе использования искусственных нейронных сетей... 80

Биологические ресурсы

Рыжова Л.В. (Марийский государственный университет; Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»), Иванова А.В. (Марийский государственный университет)

Фитомасса травянистого яруса черноольшаников Государственного природного заповедника «Большая Кокшага» Республики Марий Эл..... 84

Гигиена

Габаева М.М., Мутиева Х.А., Халимбекова Р.К., Витасева З.В., Магамадова А.И., Садулаев А.О. (Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)

Осведомлённость о методах контрацепции и барьеры к применению пролонгированных обратимых методов у женщин репродуктивного возраста Кабардино-Балкарской Республики..... 88

Фармакология, клиническая фармакология

Копытов А.А. (Белгородский государственный национальный исследовательский университет), Юшманова Т.Н. (Северный государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации)

Динамика представлений будущих врачей о правовом и медицинском статусе наркотических анальгетиков и влияние личных гедонистических установок на выбор поведенческих стратегий при возникновении физической боли..... 95

Фармацевтическая химия, фармакогнозия

Козлова Ж.М., Безниско К.Е., Козлова А.М., Глазков А.О., Соловьева Н.Л., Одинцова Е.Б., Краснюк И.И. (Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет))

Сравнительный анализ марок микрокристаллической целлюлозы для оптимизации выбора наполнителя в технологии прямого прессования..... 102

Общее земледелие и растениеводство

Якименко М.В., Татаренко И.Ю., Сорокина А.И., Гутор Я.С., Якименко Т.А. (Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»)

*Формирование симбиотического аппарата у сои при совместном применении *Bradyrhizobium elkanii* и протравителей..... 107*

Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Руденок В.А., Кораблев Г.А. (Удмуртский государственный аграрный университет)

Энтропийный механизм формирования окислительно-восстановительного потенциала в биологических системах..... 114

**Садоводство, овощеводство,
виноградарство и лекарственные культуры**

Ажам Б., Козлова Е.А. (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

*Влияние стратификации на всхожесть и энергию прорастания семян представителей рода рододендрон (*Rhododendron* L.)..... 119*

Науки о Земле и окружающей среде

Общая и региональная геология.

Геотектоника и геодинамика

Хардигов А.Э., Бондарева О.С. (Южный федеральный университет)

Вулканогенно-осадочные цеолиты Северного Кавказа..... 125

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Дроздов В.С. (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

Инженерно-геологические условия сохранения церкви Всех Святых на Кулишках в Москве 130

Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Кубраков Д.В. (Алтайский центр недвижимости и государственной кадастровой оценки; Алтайский государственный аграрный университет), Жигулина Т.Н. (Алтайский государственный аграрный университет)

Система моделей факторов внешней среды объектов недвижимости в массовой (кадастровой) оценке..... 135

Майорова О.В. (Государственный университет по землеустройству)

Новые подходы в ГИС-технологиях в сельском хозяйстве 141

Геоэкология

Семенова И.Н., Кужина Г.Ш. (Сибайский институт (филиал) Уфимского университета науки и технологий), Кужина И.Р. (Уфимский университет науки и технологий)

Оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами в зоне влияния медно-колчеданного месторождения «Вишнёвское» (Республика Башкортостан) 145

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Информационные технологии и телекоммуникации

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Швецов А.Н., Шеркунов Е.В. (Вологодский государственный университет)

Применение генеративных языковых моделей в адаптивных образовательных системах для технических дисциплин высшей школы: возможности, ограничения и подходы к обеспечению педагогической корректности 152

Применение технологии Retrieval-Augmented Generation (RAG) для повышения достоверности генерируемых учебных заданий в адаптивных системах технического образования 159

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Лукашенко Д.В., Мешкова Л.В. (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Цифровые двойники в системах автоматизации и управления технологическими процессами: проблемы автоматической генерации и актуализации моделей 165

Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Григорьев А.О., Каменева И.О., Фирсова С.А., Шагилова Е.В. (Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва)

Внедрение методов визуального проектирования VM-шаблонов в процесс разработки сервисов портала «Госуслуги» 168

Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Вилкова А.В., Кашкина Е.В. (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Формирование знаний об информационной безопасности в УИС 176

Вилкова А.В., Полякова Я.Н. (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Методология формирования знаний об информационной безопасности в УИС 179

Вилкова А.В., Фиалковская Е.В. (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Периодическое, непрерывное и регулярное формирование знаний об информационной безопасности в ФСИН России 182

Дмитриев Г.Г. (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний), Бодяков В.Н. (Владимирский юридический институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Информационная безопасность в уголовно-исполнительной системе при работе в сети Интернет 185

Обучение культуре информационной безопасности в сети Интернет в ФСИН России 188

Ковалев О.Г. (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Информационная безопасность применения нейросетей при обучении специалистов уголовно-исполнительной системы..... 191

Информатика и информационные процессы

Лукашенко Д.В. (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Распределенное машинное обучение как средство повышения эффективности информационных процессов в системах обработки больших данных (возможности применения в ФСИН России).. 194

Намаева М.М., Садулаев Т.А. (Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова)

Информационные технологии как инструмент индивидуализации обучения в педагогике 197

Халиева Х.С., Исламов Д.М. (Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова)

Использование информационных технологий в педагогике для повышения мотивации учащихся.. 199

Роль информационных технологий в развитии педагогических методов обучения..... 201

Энергетика и электротехника

Электротехнические комплексы и системы

Гуляев И.В., Письмаров Г.Д. (Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва)

Разработка мобильного эмулятора панели автоматики и сигнализации электроподвижного состава на платформе Android..... 203

Гуляев И.В., Письмаров Г.Д., Бусаров А.А. (Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва)

Аппаратная часть противоаварийной системы электроподвижного состава 209

Электротехнология и электрофизика

Графский Д.Р., Буняева Е.В., Графский О.А., Пономарчук Ю.В., Фалеева Е.В. (Дальневосточный государственный университет путей сообщения)

Конструктивно-аналитические исследования износостойких ионно-плазменных покрытий 213

Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники

Голованов И.Ю. (Московский политехнический университет; МИРЭА – Российский технологический университет), Ермолаев А.Е., Махотин И.Д. (Московский политехнический университет), Некрасов Д.А. (МИРЭА – Российский технологический университет)

Оценка энергосбережения процесса охлаждения электроники диэлектрической жидкостью... 220

**Химические технологии,
науки о материалах, металлургия**

**Технология и переработка синтетических
и природных полимеров и композитов**

Миронова Э.И., Ерушонков А.Н., Лапонов С.В. (Институт химических технологий и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиал в г. Стерлитамаке))

Зарубежный и отечественный опыт применения РЕЕК в нефтегазовой отрасли 224
Применение современных конструкционных материалов для повышения надежности оборудования нефтегазопереработки 227

Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Даудова А.Л. (Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова)

Зависимость электрической проводимости жидкой фазы цементного клинкера от степени разбавления 230
Микроморфологическая гетерогенность и кинетика локального растворения фазовых составляющих портландцементного клинкера 233

Техносферная безопасность

Пожарная безопасность

Горев В.А., Лещёв И.В. (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

Расчетная модель гибкой стальной полосы в составе защитной преграды при внешнем дефлаграционном взрыве 237

Мелиорация

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Климов А.П., Суслов С.В. (Государственный университет по землеустройству), Безбородов Ю.Г. (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева), Безбородов А.Г. (Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса)

Ускорение анаэробных процессов в почве за счет ее газификации при выращивании рассады петунии 242

Эргономика

Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика

Завьялов А.Б., Лазукова Э.К., Кириллова А.Н. (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

Модернизация психологического обеспечения деятельности спасателей и персонала при ликвидации последствий ЧС на железнодорожном транспорте 246

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Компьютерные науки и информатика

Искусственный интеллект и машинное обучение

Истратова Е.Е., кандидат технических наук, доцент

Томилов И.Н., кандидат технических наук, зав. кафедрой

(Новосибирский государственный технический университет)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.01

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ

В статье приведены результаты разработки программного обеспечения для разделения аудиосигналов на отдельные стемы, такие как: вокал, барабаны, гитара и другие инструменты. В работе были проанализированы нейросетевые модели Demucs и Spleeter, а также существующие коммерческие и открытые программные решения для обработки аудио. Разработанный кроссплатформенный программный комплекс позволяет интегрировать возможности указанных нейросетевых моделей в единую среду с функциями разделения треков, их микширования и анализа качества результатов.

Ключевые слова: *разделение аудиоисточников, STEM-разделение, Demucs, Spleeter, оценка, качество разделения.*

Istratova E.E.

Tomilov I.N.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR SEPARATION AND ANALYSIS OF MUSICAL WORKS

This article presents the results of developing software for separating audio signals into individual stems, such as vocals, drums, guitar, and other instruments. The paper analyzes the Demucs and Spleeter neural network models, as well as existing commercial and open-source audio processing software solutions. The developed cross-platform software suite integrates the capabilities of these neural network models into a single environment with functions for track separation, mixing, and quality analysis.

Keywords: *audio source separation, STEM separation, Demucs, Spleeter, evaluation, separation quality.*

Введение

В области обработки и анализа музыкальных композиций в настоящее время активно развиваются технологии разделения аудиосигналов на отдельные составляющие (стемы). В звукорежиссуре выделение отдельных компонентов смешанного аудиосигнала позволяет проводить ремастеринг классических записей, улучшая качество звучания исторических фонограмм без доступа к оригинальным многодорожечным записям [1].

Для музыкантов и аранжировщиков данная технология открывает возможности создания кавер-версий и ремиксов, когда доступен только финальный трек, а оригинальные стемы недоступны.

Отдельно стоит отметить востребованность разделённого стема вокала для создания AI-каверов, где чистый вокал используется для обучения моделей или переноса вокальной партии на другую мелодию [2].

Обзор существующих решений

Исследование современных разработок показало, что рынок программного обеспечения предлагает ряд решений для анализа и обработки аудиоданных, которые в той или иной степени могут быть применены для работы с вокальными записями [3]. Одним из известных коммерческих продуктов является iZotope RX, алгоритм в основе которого позволяет отделять голос исполнителя от фонограммы, что обеспечивает чёткое разграничение вокальной партии и музыкального сопровождения [4]. Недостатками программного продукта являются высокий порог вхождения, перегруженность интерфейса функциями, не всегда необходимыми для решения узконаправленных задач, что может отвлекать от основного процесса обучения.

Другим подходом к анализу аудио является программа Sonic Visualiser, представляющая собой инструмент для визуализации аудиоданных. Архитектура решения позволяет интегрировать алгоритмы для извлечения характеристик из музыкальных записей [5]. Основной фокус решения – это визуализация, а не практическая обработка вокальных треков для их улучшения или изоляции, поэтому оно не подходит для разделения вокала и аккомпанемента [6].

В области разделения источников звука существуют не только коммерческие, но и открытые решения, например, Audionamix XTRAX STEMS, IZOTOPE RX и AudioSourceRE [7]. Высокий порог вхождения является основным недостатком для их применения.

Таким образом, проведенный анализ выявил общие проблемы существующих решений, а именно: коммерческие продукты требуют значительных разовых или регулярных финансовых вложений; профессиональные пакеты перегружены функциями, не ориентированы на большое количество пользователей; многие решения привязаны к конкретной операционной системе; одни инструменты ориентированы только на визуализацию, а другие – на восстановление звука, но не предполагают целостного подхода.

Разработка программного обеспечения для разделения и анализа музыкальных композиций

В качестве основы для разработки программного обеспечения музыкального плеера с функцией разделения аудиодорожек на составляющие был выбран язык программирования Python, обладающий широким набором библиотек для работы с аудиоданными и машинным обучением.

Для разделения аудиотреков на инструментальные составляющие были использованы две современные нейросетевые модели, а именно Demucs, которая является высокоточной моделью для разделения аудио, поддерживающая выделение до 6 дорожек (вокал, барабаны, бас, фортепиано, гитара и другие) и Spleeter, обеспечивающая быстрое разделение на 2, 4 или 5 дорожек.

В качестве архитектуры программного обеспечения была выбрана микросервисная модель, включающая три основных программных модуля. Первый модуль отвечает за разделение исходных аудиоданных на стемы. Второй модуль позволяет управлять процессами воспроизведения и микширования. Третий модуль анализирует качество полученного результата.

Модуль для разделения исходного музыкального произведения на отдельные стемы является ключевым элементом программного обеспечения. Логика его работы связана как с совместным применением двух нейросетевых моделей Demucs и Spleeter для анализа и декомпозиции стемов, так и с разработкой класса StemSeparator, позволяющего отделить данный сепарационный процесс от пользовательского интерфейса. Подобный подход обеспечивает легковесность и гибкость настройки параметров обработки стемов в готовом решении.

Модуль для управления процессами воспроизведения и микширования представляет собой комплекс медиаплееров, предусматривающих выполнение определенной последовательности воспроизведения. Так, осуществляется разделение устройств на главные и второстепенные.

Главный медиаплеер отвечает за воспроизведение основного трека, тогда как второстепенные медиаплееры управляют отдельными стемами. В результате подобная иерархия позволяет не только локально настраивать прослушивание каждой звуковой дорожки, но и гибко управлять воспроизведением в целом. При выборе соответствующего стема или композиции модуль автоматически подбирает необходимый вариант воспроизведения. Отличительной особенностью программной реализации данного модуля является модернизированный алгоритм идентификации стемов, который по составу файла автоматически подбирает способ воспроизведения на основе анализа типа применяемого инструмента.

Модуль для анализа качества полученного результата применяется для проведения объективного оценивания эффективности работы модернизированного алгоритма разделения музыкальных композиций на стемы. Для реализации оценки были разработаны два основных класса *QualityAssessmentWindow* и *StemAnalysisThread*, которые на основе сопоставления результатов разделения с комплексом метрик качества стемов позволяют выполнить их количественную и качественную интерпретацию. Расчет и последующий анализ специализированных аудиометрик основаны на проведении операций по временному выравниванию сигналов, спектральному анализу и частотному маскированию.

Заключение

В результате работы было создано и протестировано программное обеспечение, позволяющее производить разделение аудиоданных на отдельные стемы за счет встроенных средств визуализации, анализа и микширования. Разработанный программный продукт является бесплатным кроссплатформенным решением с интерфейсом на русском языке.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gorda A.* Legal protection for copyright holders of commercialized remix song cover version // *Legality: Jurnal Ilmiah Hukum*. 2022. Vol. 30. No. 1. – P. 1–11.
2. *Киреенко М.А., Антонянц Е.Н., Истратова Е.Е.* Разработка и исследование программного обеспечения для моделирования певческого голоса на основе применения технологии SoftVC VITS // *International Journal of Open Information Technologies*. 2025. Т. 13. № 3. – С. 25–33.
3. *Baysal B., Efe M.Ö.* A comparative study of blind source separation methods // *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*. 2023. Vol. 31. No. 7. – P. 1276–1293.
4. *Huang L.* An Interdisciplinary Study of the Unconscious Structures in AI-Generated Music Based on Suno // *Journal of Contemporary Art Criticism*. 2025. Vol. 1. No. 1. – P. 1–9.
5. *Cannam C.* et al. The Sonic Visualiser: A Visualisation Platform for Semantic Descriptors from Musical Signals // *ISMIR*. 2006. – P. 324–327.
6. *Thompson M.R.* Sonic Visualiser: Visualisation, Analysis, and Annotation of Music Audio Recordings // *Journal of the American Musicological Society*. 2021. Vol. 74. No. 3. – P. 701–714.
7. *Stöter F.R.* et al. Open-unmix-a reference implementation for music source separation // *Journal of Open Source Software*. 2019. Vol. 4. No. 41. – P. 1667.

*Разаков М.А., кандидат технических наук
(Национальный исследовательский университет «МЭИ»; Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)*

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.03

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

В статье приведены результаты непосредственной реализации инженерной системы поддержания микроклимата с искусственным интеллектом на основе существующих технических средств, которые имеются в распространении на территории Российской Федерации. Отмечена вариация элементов при необходимости расширения некоторых функций системы с искусственным интеллектом. Приведены капитальные затраты на модульные компоненты для реализации аналогичных локальных систем обеспечения микроклимата. Работа представляет интерес для промышленного производства аналогичных по архитектуре устройств для массового внедрения искусственного интеллекта в инженерные системы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, инженерные системы, обеспечение микроклимата, модульные компоненты, капитальные затраты, производство.

Razakov M.A.

HARDWARE IMPLEMENTATION OF MICROCLIMATE CONTROL SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

There are the results of an artificial intelligence engineering microclimate control system direct implementation which based on existing technical equipment and used in Russian Federation. Author has noted the variations in elements when it is expanding certain system functions with artificial intelligence. Researcher presented capital investments for modular components in the implementation of similar local microclimate control systems. This research could be interested for industrial production of devices with similar architecture for the mass implementation of artificial intelligence in engineering systems.

Keywords: artificial intelligence, engineering systems, microclimate control, modular components, capital expenditures, production.

Искусственный интеллект (ИИ) активно внедряется в различные сферы человеческой деятельности [1,2]. Его интеграция в топливно-энергетический и жилищно-коммунальный комплексы способствует потенциальному активному энергосбережению [3–5]. Вопрос их применения для больших систем уже достаточно глубоко проработан, но в рамках коммуникаций зданий и сооружений (системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, горячего и холодного водоснабжения, канализации, системы водоподготовки, электроснабжение, освещение и т.д.), этот вопрос еще требует дополнительных исследований [6, 7]. Основной проблемой является непосредственное определение доминирующего фактора вредности (тепловые, влажностные, газовые вредности или их различные комбинации) и вид его подавления. Не менее весомой является аппаратная реализация управления регулирующих элементов. Про этот раздел существует малое количество работ. В основном этот раздел исследуется лишь в рамках направления жизненного цикла здания [8]. Несмотря на малое количество научных работ, описывающих реализованные проекты, их можно выявить после глубоко анализа. Для систем

отопления и кондиционирования воздуха были реализованы проекты по успешному интегрированию искусственного интеллекта в здания гражданского назначения, которые представлены в работах [8–10]. ИИ-системы предполагают применение существующей системы автоматизации (первичное измерительное оборудование температуры, статического и динамического давления, расхода воздуха и основные регулирующие элементы регулирования). Их архитектура предполагает некий цифровой двойник регулируемой системы (возможно совместно с зданием), расчетный и аналитический модуль характеристик, устройства преобразования и записи данных. В работе [8] отмечается иной принцип к формированию аппаратной части инженерных систем с искусственным интеллектом, который включает установку станции, расположенной в зоне контроля одного помещения. Этот принцип может быть реализован также в рамках концепции умного дома с большим количеством элементов (умные светильники, умные окна и шторы, умные бытовые приборы, умные розетки и т.п.). Несмотря на широкие перспективы, он не может быть реализован без цифрового двойника и расчетно-аналитического модуля, которые на первичных этапах должны быть созданы и апробированы для одного помещения. Это также подтверждается тем, что во всех работах присутствует некоторый элемент неопределенности, который приводит к погрешностям. Для этой цели необходимо определить устройства и программные комплексы, в которых возможна открытая и неограниченная реализация систем ИИ.

Для тестирования была создана экспериментальная система дополнительного подогрева воздуха помещения с воздушным калорифером, включающимся при прогнозируемом через некоторое время понижении температуры наружного воздуха (на данный момент вводится оператором за сутки). Модуль ИИ проводит определенный анализ и включает в определенный момент данную дополнительную систему для предотвращения резких изменений температуры воздуха в помещении (код реализован в Matlab, Python, Arduino). После подогрева, система отключается. Данная проблема с излишним охлаждением помещений наблюдается в основном в переходные периоды года. Как результат в данный период увеличивается число заболеваний насморком, болью в горле и т.п. [11]

В качестве основных устройств были выбраны технологии на базе Arduino. Блок схема аппаратной реализации данной системы приведена на рисунке 1. Капитальные затраты на сконструированный вариант системы представлен в таблице 1.

*Таблица 1***Капитальные затраты устройств для экспериментальной системы (аппаратная часть ИИ)**

Наименование элемента системы	Описание	Единичная стоимость, руб	Кол-во	Единичная стоимость, руб	Примечание
Амперка Troyka Slot Shield v2	Модуль-расширитель для 6 модулей Screw Pad	820	1	820	Возможность подсоединение к отечественной плате ISKRA JS
Амперка Screw Pad (Тройка-модуль)	Хаб для подключения модулей	290	5	1450	Не требует дополнительного программирования данного устройства
Плата Arduino UNO R3	Плата для соединения модулей	2000	1	2000	—

Таблица 1 (окончание)

Наименование элемента системы	Описание	Единичная стоимость, руб	Кол-во	Единичная стоимость, руб	Примечание
Raspberry PI 3	Мини-ПК для настройки и мониторинга систем с возможностью записи данных и запуска программ	5000	1	5000	—
Экран	Визуальный контроль данных	3000	1	3000	—
Термопары	Тип DS18B20	250	3	750	—
Блок питания для Платы Arduino UNO R3	12V (Плата, Мини-ПК, Экран)	1000	3	3000	—
Монтажный комплект для соединения проводов	Провода, клипсы и т.п.	3000	1	—	—
Вентиляционная система	—	30000	1	30000	—
Твердотельное реле с алюминиевой подложкой	—	2000	2	4000	
Сумма:				50 020	

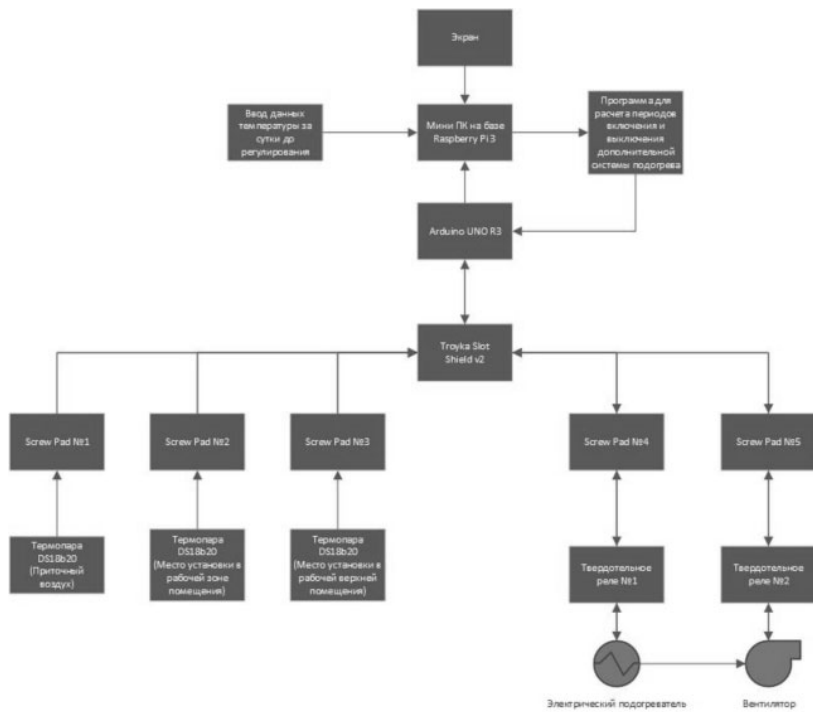


Рис. 1. Блок-схема аппаратной части экспериментальной системы

При подключении к сети интернет возможно дополнительное применение модуля с Wi-fi. А для реализации с подключения с помощью Wi-fi сети необходимо применение модуля Wifi Slot (модель ESP 12 с чипом ESP8266EX)

Принципиальная схема предполагаемого варианта представлена на рисунке 2. Стоимость данной системы сократиться до 39 320 рублей.

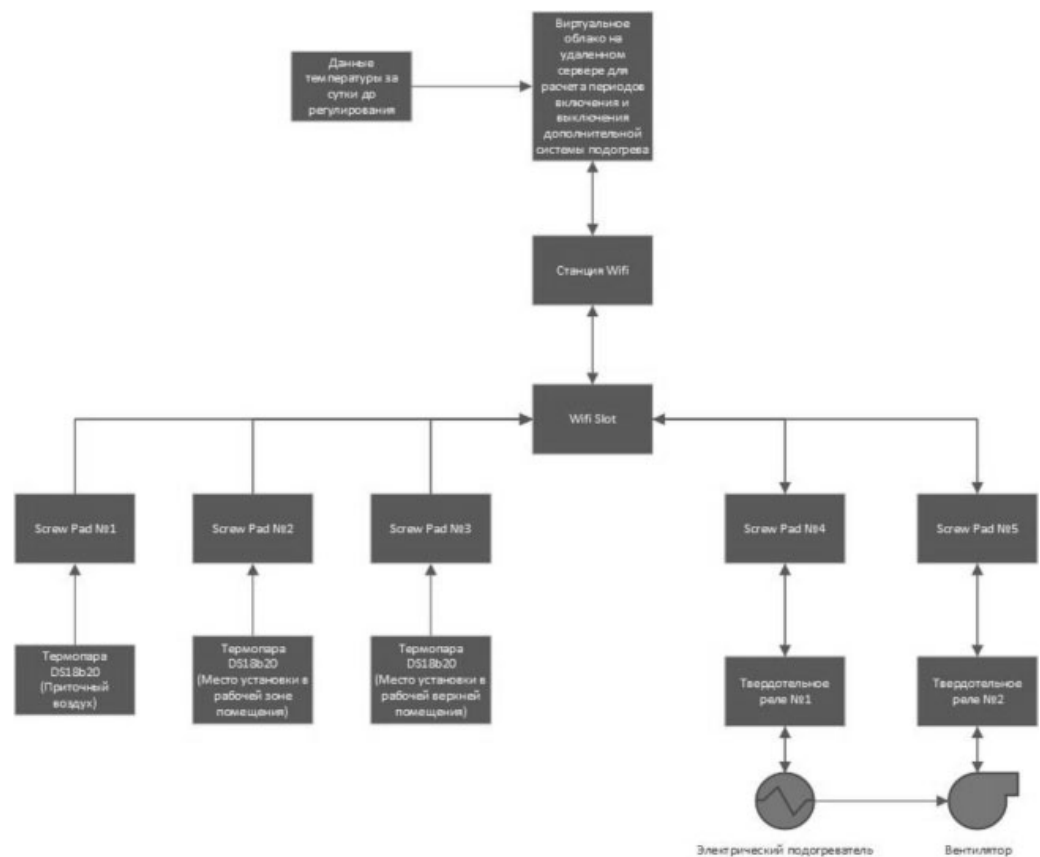


Рис. 2. Блок-схема аппаратной части предлагаемой системы

Архитектура промышленных систем обеспечения микроклимата производственных помещений должна быть аналогичной, ввиду её широкого функционала. Первичные устройства считки параметров должны быть легкозаменяемыми на аналоги и с иными вариантами определения параметров. Так, например, в помещениях с высокими влагоизбытками диктующим показателем должна быть относительная влажность и температура (которые с помощью преобразований должны выдавать значение влагосодержания). Газово-пылевые избытки в помещениях также должны фиксироваться с помощью схожих устройств. Поэтому в дальнейшем предлагается замена лишь только термопар на необходимые считыватели параметров.

Таблица 2

Капитальные затраты устройств для предлагаемой системы с ИИ

Наименование элемента системы	Описание	Единичная стоимость, руб	Кол-во	Единичная стоимость, руб	Примечание
----------------------------------	----------	--------------------------------	--------	--------------------------------	------------

Амперка Wifi Slot (модель ESP 12 с чипом ESP8266EX)	Мини-процессор для 12 выходов с измерительными и иными датчиками с вшитым Wi-fi модулем	2120	1	2120	Расширение до 100 плат
Амперка Screw Pad (Тройка-модуль)	Хаб для подключения модулей	290	5	1450	Не требует дополнительного программирования данного устройства
Термопары	Тип DS18B20	250	3	750	–
Блок питания для Платы Arduino UNO R3	12V (Плата, Мини-ПК, Экран)	1000	1	1000	–
Монтажный комплект для соединения проводов	Провода, клипсы и т.п.	3000	1	–	–
Вентиляционная система	–	30000	1	30000	–
Твердотельное реле с алюминиевой подложкой	–	2000	2	4000	
Сумма:				39 320	

Вывод

Разработанная система на базе ИИ может быть интегрирована в помещения в качестве индивидуальной системы, а также применена в малых обособленных зданиях (контрольно-пропускные пункты, котельные сооружения, трансформаторные и т.п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Плотников В.В.* Цифровая трансформация процессов управления недвижимостью с использованием технологий искусственного интеллекта // Экономика и бизнес: теория и практика. 2026. № 2 (132). – С. 184–190. DOI 10.24412/2411–0450–2026–2–184–190.
2. *Хузиахметов Р.А., Баязитов Н.И.* Искусственный интеллект в обеспечении пожарной безопасности объектов строительства // Вестник НЦБЖД. 2025. № 3 (65). – С. 130–137.
3. *Едгоров Е.С., Истомин А.Л.* Разработка информационной системы управления и оптимизации теплоэнергетическими процессами // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2024. № 21. – С. 38–41.
4. *Бродач М.М., Шилкин Н.В.* Нейронные сети: оптимальное управление отпуском тепловой энергии // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2019. № 8. – С. 52–57.
5. *Феськова А.Я.* Глобальные тренды в городской водной инфраструктуре: интеграция искусственного интеллекта, больших данных и IoT // Инновации и инвестиции. 2025. № 12. – С. 474–475.
6. *Шубин И.Л., Стронгин А.С.* Интеллектуальные системы управления инженерным оборудованием зданий // Приволжский научный журнал. 2024. № 4 (72). – С. 81–87.

7. *Labib R., Nagy Z.* Будущее искусственного интеллекта в зданиях // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 4. – С. 58–61.
8. *Hosamo H., Hosamo M.H., Nielsen H.K., Svennevig P.R., Svidt K.* Digital Twin of HVAC system (HVACDT) for multiobjective optimization of energy consumption and thermal comfort based on BIM framework with ANN-MOGA // *Advances in building energy research*. 2023. Vol. 17. No. 2. – P. 125–171.
9. *Xie X., Merino J., Moretti N., Pauwels P., Chang J.Y., Parlikad A.* Digital twin enabled fault detection and diagnosis process for building HVAC systems // *Automation in Construction*. 2023. Vol. 146. – P. 104695.
10. *Krūmiņš A., Bogdanovs N., Beļinskis R., Mežale K., Garjāns M.* Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Trough Improved Machine Self-learning Algorithms // *Cold Climate HVAC Conference*. Cham: Springer International Publishing, 2018. – P. 41–49.
11. *Жила В.А., Сапронова М.Ю.* Влияние режима работы системы отопления на условия комфортности людей // *Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий: Сборник докладов V Международной научно-практической конференции*, Нижний Новгород, 14–16 мая 2024 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 225–229.

*Разаков М.А., кандидат технических наук
(Национальный исследовательский университет «МЭИ»; Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)*

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.02

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЛЕДЯЩИХ ИНФРАКРАСНЫХ КАМЕР ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА

В исследовании рассмотрены важные аспекты лучисто-конвективного теплообмена между человеком и окружающим его пространством, которые необходимо учитывать при калибровке оборудования поддержания микроклимата и использовании инфракрасных камер с элементами искусственного интеллекта. Представлены варианты программной (в форме алгоритма) и инфраструктурной реализации инфраструктуры инженерных систем обеспечения микроклимата с искусственным интеллектом при динамически изменяющихся параметрах внутреннего воздуха и иных элементов (источников теплоты) помещений зданий и сооружений. Произведен краткий обзор методик и факторов, используемых для моделирования и проектирования теплообменных процессов, связанных с человеком. Работа представляет интерес для специалистов в области реализации систем с искусственным интеллектом.

Ключевые слова: искусственный интеллект, погрешность измерения, системы обеспечения микроклимата, температура поверхности тела, температура поверхности одежды, условия комфорта, лучистый теплообмен.

Razakov M.A.

SOME ISSUES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INFRARED SURVEILLANCE CAMERAS FOR MICROCLIMATE CONTROL SYSTEMS

There are important aspects of radiative-convective heat exchange between humans and their surroundings which must be considered when calibrating microclimate control equipment and using infrared cameras with artificial intelligence elements. Author has presented the software (in the form of an algorithm) and infrastructure implementation options for microclimate engineering systems with artificial intelligence and dynamically changing parameters of indoor air and other elements (heat sources) in buildings and structures. It has been provided a brief overview of the methods and factors which used for modeling and designing heat exchange processes with human. The study is interested for specialists in the field of implementing artificial intelligence systems.

Keywords: artificial intelligence, measurement error, microclimate control systems, body surface temperature, clothing surface temperature, comfort conditions, radiant heat exchange.

В любых живых организмах постоянно происходят различные химические преобразование энергии, которые способствуют их жизнеобеспечению [1]. Одними из наиболее важных являются теплообменные и влагообменные процессы. Человек как один из наиболее сложных в устройстве существ не является исключением. Причем сложность складывается как внутренних взаимных процессов в человеческом организме [2], так и влияние внешних факторов [3–5]. Так как некоторая часть жизнедеятельность человека проходит на работе, то производственный процесс может особенно сильно влиять на самочувствие работника и сопровождаться различными вредными воздействиями:

- тепловые избытки (конвективные и лучистые);

- влагоизбытки (поступления испарений влаги при производственных процессах);
- газовые избытки (выделение токсичных газовых соединений в т.ч. и паровлажностных смесей)

Все перечисленные выше воздействия могут оказывать сильное негативное влияние на здоровье человека поэтому постоянно продолжают способы снижения особенностей производственного процесса на жизнедеятельность человека.

Промышленные здания, где происходят высокотемпературные процессы являются одними из наиболее сложных в области защиты воздействия тепловых явлений. Для некоторых видов производств постоянно идет процесс разработки определенных видов защитных костюмов [6–8], а в некоторых процессах, где их применение, в связи с технологическим процессом, невозможно, используются различные модернизированные локальные системы обеспечения микроклимата [9–11]. Для определения конструктивных параметров оборудования особое место занимают исследования, связанные с описанием теплообменных и иных процессов между человеком и окружающей средой, а также явлений отклика организма на данные воздействия [4, 12–14].

Существуют методы описания теплообменных процессов человека и окружающей среды при которых учитываются различные площади составных частей человека (голова, конечности, туловище и т.п.) [15]. Также существуют модели в которых человек может заменяться на некоторый вид простого элемента [16]. Наиболее популярным является балансовая модель в котором тепловые потоки человека усредняются и считаются при средней постоянной температуре 36,6–37°C [17, 18]. Вариант программной реализации данной модели представлен в работе [19].

Другое крупное направление для исследований является моделирование технологических процессов и систем устранения вредного влияния от них на человека [20]. В конце прошлого века Хомутецкий Ю.Н. сформировал общий подход к динамически изменяющемуся микроклимату в помещениях [21]. Он приобретает особую актуальность для интеграции систем с искусственным интеллектом в инженерные системы обеспечения микроклимата как для промышленных, так и для гражданских зданий и сооружений. Если для промышленных зданий превалирующим местом интеграции будут системы микроклимата, связанные с технологическим процессом, то в жилых и общественных зданиях это будут общеобменные системы. Отличительной чертой также будут подходы к факторам воздействия. Несмотря на первый взгляд кажущуюся более легкую интеграцию ИИ в гражданские здания в действительности вызовет лишь новые сложно решаемые вопросы.

В работе Шубина И.Л. [22] предложен способ интеграции искусственного интеллекта в системы поддержания микроклимата зданий культурно-зрелищного назначения с помощью инфракрасной камеры. Особенностью этого гражданского здания является то, что в нем может присутствовать достаточно большое количество людей с различными состояниями здоровья, возраста, пола и т.п. Собственно этот факт вызывает ряд вопросов, связанных с механизмом принятия решений по определению фактической температуры тела человека. На рисунке 1 представлена термограмма человека.



Рис. 1. Термограмма распределения температуры на поверхности кожи и одежды человека ($t_{\text{пом}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varepsilon_{\text{ср}} = 0,98$)

В действительности можно заметить, что человек имеет достаточно большую разницу температур (равную $6\text{ }^{\circ}\text{C}$) для элементов. Также стоит обратить внимание, что люди на расстоянии имеют иные значения максимальной температуры т.к. термокамера расположена отдалении от них. Температурные ограничения для ограждающих конструкций можно выставить согласно СП 50.13330.

В связи с этими сложностями возникает несколько направлений интеграции инфракрасной камеры для системы регулирования микроклимата с помощью ИИ в гражданских зданиях массового пребывания людей:

А) На базе цифровой модели помещения в проектной стадии смоделировать некоторое количество состояний микроклимата и тем самым предоставить возможность создания сценариев при совпадении данных. Например, в качестве параметра возможно использовать температурную площадь теплового пятна сектора с определенным количеством людей, которое определено с помощью тепловизора с функцией распознавания лиц. Особенности этого способа являются:

Ограниченность управления микроклиматом т.к. для каждого состояния будет учитываться лишь определенное количество составляющих процесса (например, количество тепловых избытков от разного количества людей);

Осреднение данных тепловых избытков для каждого человека и как следствие отсутствие методов интеграции состояний человека и его элементов в модели, что несомненно приведет к увеличению погрешности и отсутствию индивидуализации микроклимата;

Положительным пунктом при данном способе будет достаточно быстрая передача и исполнение команды непосредственным механизмом регулирования (воздухораспределителям, клапанам т.п.) для создания и регулирования микроклимата т.е. данный период будет сведен к минимуму при одновременной адаптации и обучении этих механизмов для определенных состояний микроклимата в данных зонах;

Большие ресурсные затраты времени, финансов и вычислительных мощностей для процесса моделирования на стадии проектирования с сложно прогнозируемым результатом.

Блок схема этого варианта интеграции инфракрасной камеры в общую систему управления системами микроклимата представлена на рисунке 2.

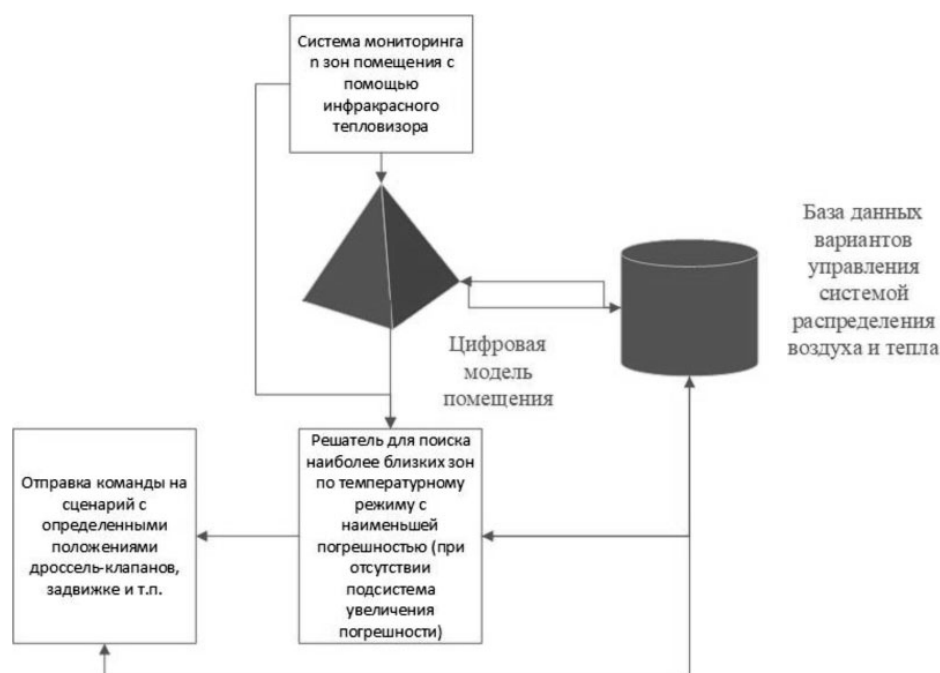


Рис. 2. Блок-схема для варианта А

Б) На базе некоторого эталонного источника теплоты выполнить определение средней погрешности температуры тела различных людей. Собственно, при данном способе возникают вопросы к идентификации самого эталонного источника. Им может быть как независимый элемент (например, пластина с нагревательным элементом), датчик температуры или эталонное значение температуры, внесенное в алгоритм внутри системы с ИИ, с зависимыми элементами (ограждающие конструкции, части тела людей, температура иных предметов в помещении). Данный способ практически полностью нивелирует отрицательные особенности способа интеграции А, но при этом этот способ имеет потенциальный недостаток, связанный с сложностью и продолжительностью расчетов т.к. заранее проработанных сценариев нет и адаптивное управление с динамически изменяющимися параметрами имеет 2 подраздела: постоянный мониторинг состояния системы с множеством элементов и непосредственный вычислительный процесс параметров. Алгоритм данного варианта интеграции ИИ с инфракрасной камерой представлен на рисунке 3.

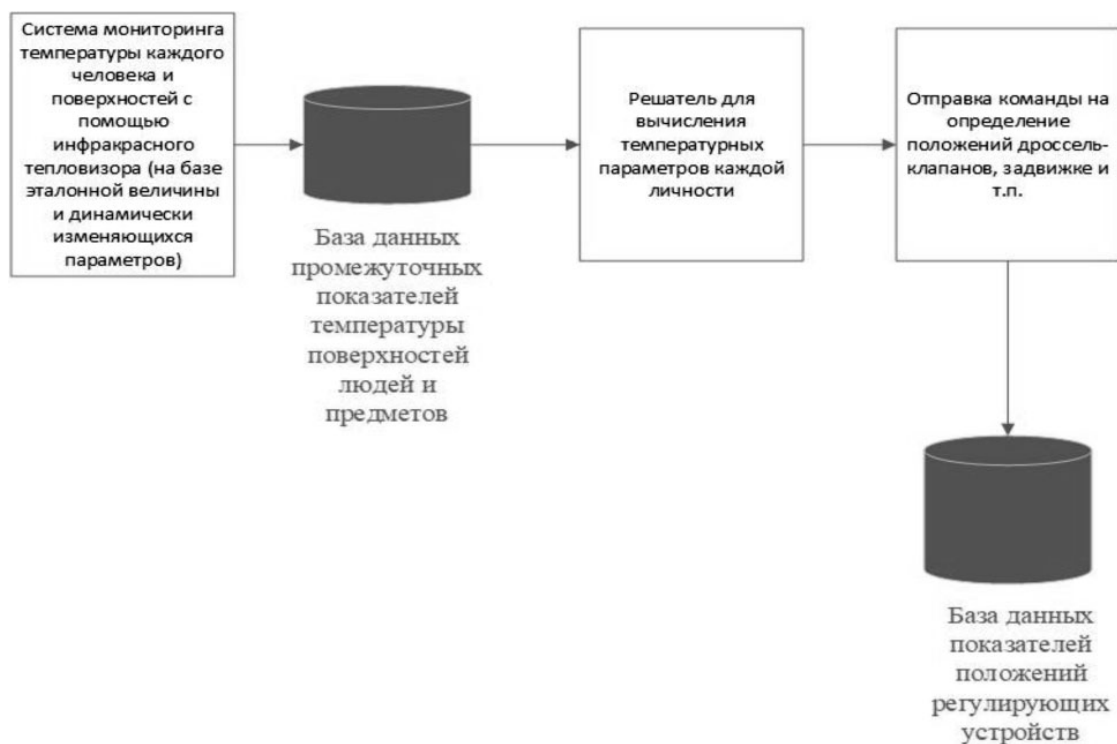


Рис. 3. Блок-схема для варианта Б

Также существует и иной вариант разновидности метода Б – установка некоторого количества постоянных датчиков температуры. Этот способ приведен к большому количеству капитальных затрат на непосредственное измерительное оборудование, а также к увеличению трудовых ресурсов на устройство данных систем. Тем не менее потенциальные проблемы обработки данных присущие этой системе будут схожи с методом Б.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карамушко Л.И. Биоэнергетика рыб северных морей. Монография. – М.: Наука. 2007. – 253 с.
2. Medvedev A.E. Three-dimensional Simulation of Heat and Moisture Transfer in the Human Bronchial Tree / A.E. Medvedev, P.S. Golysheva // Journal of Siberian Federal University. Mathematics and Physics. 2024. Vol. 17. No. 1. – P. 136–145.
3. Джавадов Н.Г. Двухкритериальный параметрический метод контроля оптимальной температуры в производственных помещениях / Н.Г. Джавадов, К.Х. Исмаилов, М.В. Гусейнова // Нефтегазовое дело. 2018. № 5. – С. 214–228. – DOI 10.17122/ogbus-2018-5-214-228.
4. Малышева А.Е. Физиолого-гигиенические обоснования метеорологических условий, обеспечивающих тепловой комфорт // В сборнике: Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат. 1964. – С. 4–14.
5. Марченков А.П. Производственный микроклимат, теплообмен и терморегуляция организма человека / А.П. Марченков, И.В. Филиппов // Вестник НЦБЖД. 2011. № 4 (10). – С. 19–22.
6. Фрейдлин В.С. Тезисы диссертации: Микроклимат под одеждой и его влияние на терморегуляцию и самочувствие. – Воронеж. 1939. – 7 с.
7. Штромберг Я.А. Отчет НИР: Пневматический костюм для горячих работ. – ТБИОТ им. С.М. Кирова. ВЦСПС. 1940. – 57 с.

8. Моделирование теплозащитных свойств композиционного полимерного материала для боевой одежды пожарного / Д.В. Сорокин, А.Л. Никифоров, Н.Е. Егорова, С.Н. Ульева // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2022. № 2 (43). – С. 107–114.
9. Лях Г.Д., Смола В.И. Кондиционирование воздуха в кабинах транспортных средств и кранов. – М.: Металлургия. 1982. – 128 с.
10. Ставицкий Л.И., Сляян Г.К. Модель теплообмена человека со средой в условиях обдува локальным доводочным устройством. // В сборнике: *Научные исследования в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха*. – М.: ЦНИИпрозданий, 1989. – С. 143–149.
11. Разаков М.А. Особенности обеспечения температурно-влажностных параметров воздуха в рабочей зоне машинного зала на канализационных насосных станциях / М.А. Разаков // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2024. № 2 (74). – С. 28–39. – DOI 10.36622/2541-7592.2024.74.2.002.
12. Устюшин Б.В. Система терморегуляции. Тепловое состояние и теплообмен / Б.В. Устюшин, А.Е. Шмонин // *Реакции организма человека на воздействие опасных и вредных производственных факторов: метрологические аспекты* / Под редакцией к.т.н. Б.В. Бирюкова. Том 1. – М.: Издательство стандартов, 1990. – С. 113–122.
13. Юдаев Н.В. Определение отводимого тепла при испарении тела человека / Н.В. Юдаев, Л.Н. Потоцкая // *Научное обозрение*. 2015. № 10–1. – С. 190–195.
14. Абрамов А.В. Моделирование теплообмена человека в городской застройке с учетом эффекта тепловых островов / А.В. Абрамов, О.А. Пчеленок, М.В. Родичева // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2023. № 2 (42). – С. 72–80. – DOI 10.21869/2311-1518-2023-42-2-72-80.
15. Булыгина С.Г. Моделирование конвективного теплообмена человека с воздухом производственных помещений ресторанных комплексов / С.Г. Булыгина, О.А. Сотникова // *Инженерные системы и сооружения*. 2011. № 2 (5). – С. 55–66.
16. Денисихина Д.М. Научные основы математического моделирования воздухообмена и воздухораспределения в общественных зданиях: автореферат дис. ... доктора технических наук: 2.1.3 / Денисихина Дарья Михайловна; [место защиты: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»]; диссовет 24.2.380.03 (Д 212.223.06)]. – СПб., 2025. – 41 с.: ил.
17. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / пер. с венг. В.М. Беляева, под ред. В.И. Прохорова и А.Л. Наумова. – М.: Стройиздат. 1981. – 248 с.
18. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
19. Подходы в математическом моделировании системы теплообмена с участием человека / Ю.А. Давыдова, И.В. Черунова, Е.Н. Сирота, В.С. Савин // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 5–2. – С. 22–24.
20. Позин Г.М. Математическое моделирование тепловоздушных процессов в помещениях. // В сборнике: *Индустриальные системы вентиляции и кондиционирования воздуха*. – Л.: ВНИИГС, 1990. – С. 17–23.
21. Хомутецкий Ю.Н. Обоснование принципа динамического микроклимата помещений // В сборнике: *Индустриальные системы вентиляции и кондиционирования воздуха*. – Л.: ВНИИГС, 1990. С. 7–16.
22. Шубин И.Л. Интеллектуальное управление системами обеспечения микроклимата зданий культурно-зрелищного назначения / И.Л. Шубин, А.С. Стронгин, М.А. Разаков // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2025. № 6 (1090). – С. 1–4.

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Постников В.М., кандидат технических наук, доцент

Спиридонов С.Б., доцент

(Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет))

Юрчик П.Ф., доктор технических наук, профессор

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ))

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ РЕМОНТНИК С УМЕРЕННОЙ НЕЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКОЙ СЛУЖБЫ РЕМОНТА

Предложены простые аналитические выражения для оценки характеристик функционирования не экспоненциальной системы ремонтник большой размерности с умеренной загрузкой службы ремонта. Проведена оценка погрешности полученных результатов с использованием имитационной модели. Показано, что предложенные аналитические выражения с успехом могут быть использованы на практике.

Ключевые слова: система ремонтник, служба ремонта, компьютерное оборудование, система массового обслуживания, метод эквивалентных преобразований, неэкспоненциальное обслуживание.

Postnikov V.M.

Spiridonov S.B.

Yurchik P.F.

ANALYSIS OF THE REPAIRMAN SYSTEM WITH MODERATE NON-EXPONENTIAL LOAD OF THE REPAIR SERVICE

Simple analytical expressions are proposed to evaluate the performance characteristics of a large-scale repairer non-exposure system with a moderate load of the repair service. The error of the obtained results was estimated using a simulation model. It has been shown that the proposed analytical expressions can be successfully used in practice.

Keywords: repair system, repair service, computer equipment, mass service system, equivalent conversion method, non-exponential services.

Введение

В настоящее время разные виды информационно-вычислительных систем (ИВС), такие как информационно-справочные системы (ИСС), информационно-поисковые системы (ИПС), информационно-аналитические системы (ИАС), многофункциональные вычислительные центры (МФЦ) и т.д., находят широкое применение во всех областях народного хозяйства.

Эффективность функционирования этих систем во многом зависит от организации работы службы ремонта компьютерного оборудования и настройки программного обеспечения [1–6].

Совместное функционирование компьютерного оборудования ИВС и службы ремонта обычно представляют в виде системы ремонтник, а формализованную схему функционирования системы ремонтник в виде замкнутой системы массового обслуживания (СМО) типа М/М/с/Н/ПППО/Н [1–3].

Данная СМО является двухфазной. Первая фаза соответствует работе компьютерного оборудования. Вторая фаза – работе службы ремонта. При этом время работы компьютерного оборудования, а также время его ремонта соответствуют экспоненциальному закону [1–3]. Для анализа экспоненциальной системы ремонтник известны аналитические выражения. Однако на практике время работы службы ремонта, как правило, является неэкспоненциально распределённой случайной величиной. Поэтому разработка аналитической модели системы ремонтник большой размерности с неэкспоненциально распределённым временем работы службы ремонта, корректно отражающей реальный процесс функционирования системы, является актуальной задачей [1–8].

Постановка задачи

Разработать простые и удобные для практического использования аналитические выражения для оценки характеристик функционирования системы ремонтник большой размерности с неэкспоненциально распределённым временем ремонта при умеренной загрузке службы ремонта.

Решение задачи

Данная работа является продолжением и дальнейшим развитием результатов, приведенных в работах [1–3].

Для анализа рассматриваемых СМО вида М/Г/с/Н/ПППО/Н введены следующие обозначения исходных данных:

N – количество заявок в СМО, соответствующее количеству идентичных OA_i ($i = 1, \dots, N$), каждый из которых отображает работу компьютерного оборудования в составе ИВС;

$t_{но} = 1/\mu_{но}$ – среднее время обработки заявки в обслуживающем аппарате OA_i , имитирующем работу единицы компьютерного оборудования, т.е. среднее время наработки на отказ данного оборудования;

$\mu_{но}$ – интенсивность обслуживания заявок в OA_i , имитирующим работу компьютерного оборудования;

$t_o = 1/\mu_o$ – среднее время обработки заявки в OA_o , имитирующим работу фазы ремонта единицы компьютерного оборудования, где μ_o – интенсивность обработки заявок в OA_o ;

v_{ex}^2 – квадрат коэффициента вариации интервалов времени заявок, поступающих на обработку в OA_o , имитирующий работу фазы ремонта компьютерного оборудования;

v_o^2 – квадрат коэффициента вариации времени обработки заявок в OA_o , имитирующим работу фазы ремонта компьютерного оборудования;

c – количество ремонтников, входящих в состав службы ремонта компьютерного оборудования.

Показателями функционирования СМО являются:

T – среднее время пребывания оборудования на стадии ремонта, (ожидание в очереди и ремонт);

W – среднее время нахождения оборудования в очереди на ремонт;

L – среднее количество компьютерного оборудования, которые находятся на стадии ремонта;

Q – среднее количество компьютерного оборудования в очереди на ремонт;

n – среднее количество работающего компьютерного оборудования;

ρ_e – загрузка каждого OA_i ($i = 1, \dots, N$), имитирующего работу оборудования;

ρ_o – загрузка OA_o , имитирующего работу сотрудника, занятого ремонтом;

α – показатель отношения загрузок компьютерного оборудования и специалиста службы ремонта (показатель сбалансированности рассматриваемой системы);

λ – интенсивность заявок, соответствующих компьютерному оборудованию, поступающему в службу ремонта.

С учётом введенных обозначений процесс функционирования рассматриваемой системы ремонтника можно представить с помощью следующих выражений:

$$\rho_e = \frac{t_{ho}}{t_{ho} + T} \quad (1)$$

$$\rho_o = \lambda t_o = \frac{N \cdot t_o}{t_{ho} + T} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\rho_e}{\rho_o} = \frac{t_{ho}^c}{N \cdot t_o} \quad (3)$$

Для оценки вероятности простоя сотрудника службы ремонта системы ремонтник используют формулу Пальма, которая имеет следующий вид:

$$P_0 = \left(\sum_i^N \frac{N!}{(N-i)!} \cdot \left(\frac{t_o}{t_{ho}} \right)^i \right)^{-1} \quad (4)$$

После подстановки значения t_{ho} из формулы (3) в формулу (4) для одноканальной службы ремонта имеем:

$$P_0 = \left(\sum_i^N \frac{N!}{(N-i)!} \cdot \left(\frac{1}{\alpha N} \right)^i \right)^{-1} \quad (5)$$

Исследования показали, что при $\alpha \geq 2$ и $N \geq 50$, выражение (5) можно представить в виде суммы членов геометрической прогрессии:

$$P_0 = \left(1 + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha^2} + \dots + \frac{1}{\alpha^N} \right)^{-1}, \quad (6)$$

где: $\frac{1}{\alpha}$ – знаменатель геометрической прогрессии.

Сумма членов геометрической прогрессии для выражения (6) определяется по формуле:

$$P_0 = \left(\frac{1 - (1/\alpha)^{(N+1)}}{1 - (1/\alpha)} \right)^{-1} \quad (7)$$

После преобразования выражения (7) для числа N ($N \geq 50$) получаем:

$$P_0 = \frac{\alpha - 1}{\alpha} \quad (8)$$

Тогда загрузка сотрудника службы ремонта при $\alpha \geq 2$ и $N \geq 50$ определяется из следующего выражения:

$$\rho_o = 1 - P_0 = 1/\alpha \quad (9)$$

Используя метод эквивалентных преобразований, заменяем вторую фазу рассматриваемой замкнутой СМО разомкнутой СМО типа G/G/c [7].

Для СМО G/G/c согласно [8, 9] для оценки основных характеристик функционирования справедливы следующие приближённые выражения, погрешность которых, соответствует требованиям практических расчётов.

Q – среднее количество единиц компьютерного оборудования в очереди на ремонт, L – в службе ремонта (в очереди и на ремонте), W – среднее время ожидания ремонта, а также T – среднее время нахождения компьютерного оборудования в службе ремонта, определяются из следующих выражений:

$$Q = \frac{c \cdot \rho_o^{c+1} \cdot (v_e^2 + v_o^2)}{2 \cdot (1 - \rho_o^c)} = \frac{c \cdot (v_e^2 + v_o^2)}{2 \cdot \alpha \cdot (\alpha^c - 1)} \quad (10)$$

$$L = Q + \rho_o = Q + \frac{1}{\alpha} = \frac{c \cdot (v_o^2 + v_o^2 - 2) + 2 \cdot \alpha^c}{2 \cdot \alpha \cdot (\alpha^c - 1)} \quad (11)$$

$$W = \frac{\rho_o^c \cdot (v_o^2 + v_o^2) \cdot t_o}{2 \cdot (1 - \rho_o^c)} = \frac{(v_o^2 + v_o^2) \cdot t_o}{2 \cdot (\alpha^c - 1)} \quad (12)$$

$$T = W + t_o = \frac{((v_o^2 + v_o^2 - 2) + 2 \cdot \alpha^c) \cdot t_o}{2 \cdot (\alpha^c - 1)} \quad (13)$$

Оценка погрешности аналитических выражений проводилась путём их сравнения с результатами имитационного моделирования по формулам:

$$\Delta L = \frac{L^{ам} - L^{им}}{L^{им}} \cdot 100\% \quad (14)$$

$$\Delta T = \frac{T^{ам} - T^{им}}{T^{им}} \cdot 100\% \quad (15)$$

В табл. 1–4 приведены результаты аналитического и имитационного моделирования системы ремонтник для одноканальной и многоканальной службы ремонта, а в табл. 5–8 оценка погрешности разработанных аналитических выражений, вычисленная по формулам (14) и (15).

При проведении исследований изменяемыми параметрами являлись:

- количество единиц компьютерного оборудования (N) в составе системы ремонтник;
- показатель сбалансированности системы ремонтник (α). Для задания значения α использовалась формула (3), при этом изменялось значение $t_{но}$;
- квадрат коэффициента вариации интервалов времени ремонта оборудования (v_o^2).

Неизменяемыми параметрами являлись:

- среднее время ремонта оборудования ($t_o = 10$ единиц);
- квадрат коэффициента вариации интервалов времени входного потока оборудования в службу ремонта ($v_o^2 = 1$), полагали, что поток пуассоновский.

Таблица 1

Значения $L^{им}$ для $C = 1$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения $L^{им}$ при $C = 1$ и $\alpha = 2$							
50	0,739	0,825	0,933	1,023	1,120	1,220	1,640
100	0,753	0,850	0,967	1,067	1,177	1,280	1,780
300	0,764	0,862	0,991	1,101	1,220	1,331	1,901
500	0,770	0,880	0,992	1,110	1,231	1,360	1,960
1000	0,772	0,882	0,993	1,131	1,243	1,362	1,985
$L^{ам}$	0,775	0,875	1,000	1,125	1,250	1,375	2,000
Значения $L^{им}$ при $C = 1$ и $\alpha = 3$							
50	0,416	0,448	0,490	0,521	0,555	0,602	0,765
100	0,419	0,453	0,496	0,532	0,567	0,605	0,793
300	0,422	0,456	0,498	0,537	0,577	0,615	0,816
500	0,425	0,458	0,500	0,540	0,582	0,625	0,826
1000	0,425	0,461	0,500	0,543	0,583	0,625	0,835
$L^{ам}$	0,425	0,460	0,500	0,542	0,583	0,625	0,833

Таблица 2

Значения L^{um} для $C = 2$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения L^{um} при $C = 2$ и $\alpha = 2$							
50	1,140	1,200	1,246	1,305	1,358	1,385	1,660
100	1,165	1,220	1,290	1,355	1,400	1,500	1,790
500	1,185	1,248	1,325		1,475	1,544	1,914
1000	1,189	1,252	1,328		1,484	1,560	1,935
L^{am}	1,183	1,250	1,333	1,416	1,500	1,583	2,000
Значения L^{um} при $C = 2$ и $\alpha = 3$							
50	0,700	0,715	0,731	0,746	0,760	0,785	0,846
100	0,705	0,723	0,740	0,758	0,775	0,790	0,880
500	0,714	0,731	0,746	0,765	0,786	0,802	0,893
1000	0,715	0,729	0,748	0,768	0,791	0,806	0,896
L^{am}	0,712	0,729	0,750	0,770	0,791	0,812	0,916

Таблица 3

Значения L^{um} для $C = 3$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения L^{um} при $C = 3$ и $\alpha = 2$							
50	1,562	1,595	1,631	1,665	1,700	1,750	1,880
100	1,602	1,640	1,678	1,723	1,770	1,820	2,000
1000	1,639	1,680	1,725	1,778	1,831	1,885	2,140
L^{am}	1,618	1,660	1,714	1,768	1,821	1,875	2,143
Значения L^{um} при $C = 3$ и $\alpha = 3$							
50	1,004	1,012	1,020	1,035	1,040	1,060	1,082
100	1,010	1,018	1,025	1,040	1,050	1,068	1,110
1000	1,025	1,035	1,040	1,046	1,060	1,069	1,119
L^{am}	1,021	1,029	1,040	1,048	1,058	1,067	1,114

Таблица 4

Значения L^{um} для $C = 5$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения L^{um} при $C = 5$ и $\alpha = 2$							
50	2,437	2,446	2,454	2,480	2,500	2,520	2,550
100	2,502	2,520	2,543	2,560	2,575	2,620	2,680
1000	2,570	2,585	2,620	2,650	2,670	2,695	2,825
L^{am}	2,543	2,560	2,580	2,600	2,621	2,640	2,743
Значения L^{um} при $C = 5$ и $\alpha = 3$							
50	1,618	1,619	1,620	1,622	1,625	1,628	1,635
100	1,648	1,650	1,653	1,655	1,658	1,662	1,668
1000	1,673	1,675	1,676	1,678	1,680	1,685	1,702
L^{am}	1,670	1,672	1,673	1,675	1,677	1,679	1,688

Таблица 5

Значения $\Delta L\%$ для $C = 1$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения $\Delta L\%$ при $C = 1$ и $\alpha = 2$							
50	4,88	6,06	7,20	9,98	11,60	12,70	21,95
100	2,92	2,95	3,40	5,43	6,20	7,43	12,35
300	1,43	1,50	0,90	2,20	2,46	3,30	5,25
500	0,65	0,58	0,80	1,35	1,55	1,10	2,05
1000	0,40	0,80	0,70	0,55	0,58	0,95	0,80
L^{am}	0,775	0,875	1,000	1,125	1,250	1,375	2,000
Значения $\Delta L\%$ при $C = 1$ и $\alpha = 3$							
50	2,16	2,68	2,05	4,00	5,05	3,82	8,90
100	1,43	1,55	0,80	1,90	2,82	3,30	5,05
300	0,72	0,90	0,40	0,95	1,05	1,65	2,08
500	0,00	0,43	0,00	0,40	0,20	0,00	0,90
1000	0,00	0,22	0,00	0,20	0,00	0,00	2,40
L^{am}	0,425	0,460	0,500	0,542	0,583	0,625	0,833

Таблица 6

Значения $\Delta L\%$ для $C = 2$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения $\Delta L\%$ при $C = 2$ и $\alpha = 2$							
50	3,75	2,46	6,98	8,50	10,50	14,25	20,50
100	1,55	2,40	3,30	4,50	5,20	5,55	11,70
500	0,25	0,20	0,60	1,00	1,70	2,60	4,40
1000	0,50	0,20	0,40	0,60	1,10	2,35	3,35
$L^{ам}$	1,183	1,250	1,333	1,416	1,500	1,583	2,000
Значения $\Delta L\%$ при $C = 2$ и $\alpha = 3$							
50	1,70	1,95	2,60	3,20	4,00	5,50	8,20
100	1,00	0,35	1,35	1,60	2,10	2,80	4,10
500	0,30	0,30	0,55	0,60	0,65	1,25	2,60
1000	0,40	0,00	0,30	0,25	0,00	0,75	1,20
$L^{ам}$	0,712	0,729	0,750	0,770	0,791	0,812	0,916

Таблица 7

Значения $\Delta L\%$ для $C = 3$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения $\Delta L\%$ при $C = 3$ и $\alpha = 2$							
50	3,60	4,10	5,10	6,20	7,00	7,20	14,00
100	1,00	1,25	1,65	2,60	2,90	2,95	7,20
1000	1,30	1,20	0,65	0,60	0,55	0,55	0,20
$L^{ам}$	1,618	1,660	1,714	1,768	1,821	1,875	2,143
Значения $\Delta L\%$ при $C = 3$ и $\alpha = 3$							
50	1,70	1,70	2,00	1,30	1,80	0,65	2,95
100	1,10	1,10	1,50	0,80	0,80	0,10	0,40
1000	0,40	0,60	0,00	0,20	0,20	0,20	0,50
$L^{ам}$	1,021	1,029	1,040	1,048	1,058	1,067	1,114

Таблица 8

Значения $\Delta L\%$ для $C = 5$ при $\alpha = 2$ и $\alpha = 3$

N / v_o^2	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
Значения $\Delta L\%$ при $C = 5$ и $\alpha = 2$							
50	4,35	4,65	5,20	4,85	4,85	4,80	7,60
100	1,65	1,60	1,50	1,50	1,80	0,80	2,35
1000	1,05	1,00	1,50	1,90	1,85	2,05	2,90
$L^{ам}$	2,543	2,560	2,580	2,600	2,621	2,640	2,743
Значения $\Delta L\%$ при $C = 5$ и $\alpha = 3$							
50	3,20	3,30	3,30	3,30	3,30	3,20	3,25
100	1,35	1,35	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20
1000	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,35	0,80
$L^{ам}$	1,670	1,672	1,673	1,675	1,677	1,679	1,688

Погрешность $\Delta T\%$ практически аналогична погрешности $\Delta L\%$.

Анализ результатов, приведённых в табл. 5 – табл. 8, наглядно представляет области эффективного практического использования разработанных аналитических выражений для анализа систем ремонтника большой размерности с неэкспоненциальным распределением времени ремонта. При этом для одного и того же значения (v_o^2), с увеличением количества оборудования ($N \geq 50$), значения показателя сбалансированности системы ремонтника ($\alpha \geq 2$) и увеличения количества ремонтников службы ремонта ($c \geq 1$), погрешность аналитических выражений уменьшается, что очень важно для их практического применения.

Для оценки возможности увеличения области использования разработанных аналитических выражений, было проведено исследование при значении показателя сбалансированности системы ремонтника $\alpha = 1,5$. Для сокращения экспериментов использовали метод латинских квадратов [9–10].

Исследовали влияние на значение (L) и (T) трёх факторов: (N), (c) и (v_o^2), каждый фактор изменялся на пяти уровнях. Матрица планирования экспериментов приведена в табл. 9, а результаты экспериментов в табл. 10.

Таблица 9

Матрица экспериментов метода латинских квадратов для $\alpha = 1,5$

	1	2	3	4	5
1	$N = 100 \ C = 1$ $v^2 = 0,1$	$N = 100 \ C = 2$ $v^2 = 0,5$	$N = 100 \ C = 3$ $v^2 = 1,0$	$N = 100 \ C = 4$ $v^2 = 2,0$	$N = 100 \ C = 5$ $v^2 = 5,0$
2	$N = 200 \ C = 1$ $v^2 = 0,5$	$N = 200 \ C = 2$ $v^2 = 1,0$	$N = 200 \ C = 3$ $v^2 = 2,0$	$N = 200 \ C = 4$ $v^2 = 5,0$	$N = 200 \ C = 5$ $v^2 = 0,1$
3	$N = 300 \ C = 1$ $v^2 = 1,0$	$N = 300 \ C = 2$ $v^2 = 2,0$	$N = 300 \ C = 3$ $v^2 = 5,0$	$N = 300 \ C = 4$ $v^2 = 0,1$	$N = 300 \ C = 5$ $v^2 = 0,5$
4	$N = 500 \ C = 1$ $v^2 = 2,0$	$N = 500 \ C = 2$ $v^2 = 5,0$	$N = 500 \ C = 3$ $v^2 = 0,1$	$N = 500 \ C = 4$ $v^2 = 0,5$	$N = 500 \ C = 5$ $v^2 = 1,0$
5	$N = 1000 \ C = 1$ $v^2 = 5,0$	$N = 1000 \ C = 2$ $v^2 = 0,1$	$N = 1000 \ C = 3$ $v^2 = 0,5$	$N = 1000 \ C = 4$ $v^2 = 1,0$	$N = 1000 \ C = 5$ $v^2 = 2,0$

Таблица 10

Результаты экспериментов по матрице латинских квадратов для $\alpha = 1,5$

	1	2	3	4	5
1	1,400/1,310 6,88%	2,130/1,982 7,48%	2,843/2,643 7,56%	3,650/3,346 9,08%	4,850/4,258 13,90%
2	1,667/1,604 3,93%	2,400/2,282 5,18%	3,260/3,070 6,20%	4,635/4,246 9,15%	3,610/3,600* 0,30%
3	2,000/1,946 2,80%	2,931/2,731 7,30%	4,520/4,166 8,65%	3,040/3,048 0,30%	3,720/3,748 0,75%
4	2,660/2,572 3,50%	4,530/4,210 7,60%	2,463/2,485 0,90%	3,160/3,200 1,25%	3,837/3,920 2,10%
5	4,660/4,560 2,20%	1,920/1,940 1,04%	2,640/2,670 1,15%	3,320/3,400 2,35%	4,090/4,250 3,75%

В каждой клетке табл. 10 приведены значения L^{am}/L^{um} и $\Delta L\%$.

Анализ результатов, приведённых в табл. 10, позволяет дать рекомендации по возможности практического применения разработанных аналитических выражений для анализа систем ремонтника в области функционирования $1,5 \leq \alpha \leq 2$: при выполнении следующих условий:

- количество оборудования в системе $N \geq 200$;
- количество ремонтников службы ремонта $1 \leq c \leq 5$;
- квадрат коэффициента вариации времени ремонта $0,1 \leq v_o^2 \leq 2$.

В табл. 11 – табл. 14 приведено наглядное сравнение результатов экспериментов в области больших значений параметра системы (v_o^2). Определяли и сравнивали погрешность аналитических выражений для четырёх областей $\alpha = 1,5$, $\alpha = 2$, $\alpha = 3$ и $\alpha = 5$ для значений $v_o^2 = 2$ и $v_o^2 = 5$ при изменении параметров $50 \leq N \leq 1000$ и $c = 1$, $c = 5$.

Таблица 11

Значения L^{um} , L^{am} и ΔL для $\alpha = 1,5$

N	C = 1 $v^2 = 2,0$		C = 5 $v^2 = 2,0$		C = 1 $v^2 = 5,0$		C = 5 $v^2 = 5,0$	
	L^{um}	$\Delta L\%$	L^{um}	$\Delta L\%$	L^{um}	$\Delta L\%$	L^{um}	$\Delta L\%$
100	2,30	15,65	3,83	6,80	3,60	29,50	4,28	13,33
200	2,46	8,15	4,00	2,25	4,00	16,50	4,62	4,98
300	2,52	5,55	4,15	1,50	4,18	10,05	4,75	2,10
500	2,57	3,50	4,16	1,70	4,40	5,90	4,92	1,40
1000	2,62	1,55	4,16	1,70	4,50	3,43	4,95	2,00
L^{am}	2,66		4,09		4,66		4,85	

Таблица 12

Значения $L_{\text{ум}}$, $L_{\text{ам}}$ и ΔL для $\alpha = 2,0$

N	$C = 1 \ v^2 = 2,0$		$C = 5 \ v^2 = 2,0$		$C = 1 \ v^2 = 5,0$		$C = 5 \ v^2 = 5,0$	
	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$
50	1,118	11,80	2,480	5,65	1,640	21,95	2,553	7,50
100	1,177	6,20	2,575	1,75	1,780	12,35	2,681	2,31
200	1,200	4,16	2,640	0,80	1,850	8,10	2,783	1,50
300	1,220	2,46	2,643	0,90	1,901	5,25	2,788	1,62
500	1,231	1,55	2,656	1,35	1,955	2,30	2,800	2,00
1000	1,235	1,20	2,652	1,20	1,980	1,00	2,805	2,20
$L_{\text{ам}}$	1,250		2,620		2,000		2,743	

Таблица 13

Значения $L_{\text{ум}}$, $L_{\text{ам}}$ и ΔL для $\alpha = 3,0$

N	$C = 1 \ v^2 = 2,0$		$C = 5 \ v^2 = 2,0$		$C = 1 \ v^2 = 5,0$		$C = 5 \ v^2 = 5,0$	
	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$
50	0,555	5,05	1,628	3,00	0,765	8,90	1,636	3,20
100	0,567	2,82	1,657	1,20	0,794	4,95	1,668	1,20
200	0,573	1,75	1,670	0,43	0,805	3,50	1,686	0,12
300	0,577	1,04	1,673	0,25	0,816	2,08	1,691	0,18
500	0,582	0,20	1,680	0,20	0,826	0,85	1,698	0,60
1000	0,582	0,20	1,685	0,50	0,835	0,25	1,700	0,70
$L_{\text{ам}}$	0,583		1,677		0,833		1,688	

Таблица 14

Значения $L_{\text{ум}}$, $L_{\text{ам}}$ и ΔL для $\alpha = 5,0$

N	$C = 1 \ v^2 = 2,0$		$C = 5 \ v^2 = 2,0$		$C = 1 \ v^2 = 5,0$		$C = 5 \ v^2 = 5,0$	
	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$	$L_{\text{ум}}$	$\Delta L\%$
50	0,268	2,60	0,983	1,75	0,337	9,00	0,985	1,55
100	0,272	1,10	0,991	0,90	0,342	2,35	1,000	0,00
1000	0,275	0,00	0,997	0,30	0,355	1,40	1,000	0,00
$L_{\text{ам}}$	0,275		1,000		0,350		1,000	

Результаты, приведённые в табл. 11 – табл.14 позволяют дать следующие рекомендации по использованию аналитических выражений при $1 \leq c \leq 5$:

- в области $1,5 \leq \alpha \leq 2$ для $0,1 \leq v_0^2 \leq 5$ при $N \geq 300$;
- в области $1,5 \leq \alpha \leq 2$ для $0,1 \leq v_0^2 \leq 2$ при $N \geq 200$;
- в области $2 \leq \alpha \leq 3$ для $0,1 \leq v_0^2 \leq 5$ при $N \geq 200$;

- в области $2 \leq \alpha \leq 3$ для $0,1 \leq v_0^2 \leq 2$ при $N \geq 100$;
- в области $\alpha \geq 3$ для $0,1 \leq v_0^2 \leq 5$ при $N \geq 100$;
- в области $\alpha \geq 3$ для $0,1 \leq v_0^2 \leq 2$ при $N \geq 50$.

Выводы

1. Приведено условие, при котором формализованную схему системы ремонтника большой размерности в виде замкнутой СМО, можно заменить разомкнутой СМО.
2. Разработаны простые аналитические выражения для оценки показателей функционирования и анализа системы ремонтника большой размерности при неэкспоненциальной функции распределения времени ремонта и умеренной загрузке службы ремонта.
3. Проведено сравнение аналитических результатов с результатами имитационного моделирования и выявлены области эффективного использования разработанных аналитических выражений для решения практических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Терехов В.И. Методы и модели массового обслуживания в системах организационного управления. – М.: Спутник +, 2023. – 261 с.
2. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Анализ сбалансированной системы массового обслуживания М/М/1/N/ПППО/N // Естественные и технические науки. 2019. № 12. – С. 312–318.
3. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Анализ системы ремонтник с небольшой загрузкой службы ремонта // Естественные и технические науки. 2022. № 9. – С. 80–88.
4. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Вильямс, 2007. – 912 с.
5. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1978. – 600 с.
6. Фомин Г.П. Математические методы и модели в коммерческой деятельности – М.: Финансы и статистика, 2009. – 642 с.
7. Таранцев А.А. Инженерные методы теории массового обслуживания. – М.: Наука, 2007. – 173 с.
8. Митрушкин Е.И. Инженерный анализ системы массового обслуживания // Инфокоммуникационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 2. – С. 56–62.
9. Батрак А.П. Планирование и организация эксперимента: Красноярск: ИПЦ СФУ, 2010. – 60 с.
10. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. – М.: Юрайт, 2016. – 495 с.

Химические науки

Неорганическая химия

Мутузова М.Х., кандидат химических наук, доцент

Байсангурова А.А., кандидат химических наук, доцент

Дешиев М.-Э.М., аспирант

(Чеченский государственный университет имени Ахмата Абдулхамидовича Кадырова)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.04

ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДНЫХ ВОЛЬФРАМОВЫХ БРОНЗ БЕРИЛЛИЯ

В рамках исследования построена фазовая диаграмма плавкости двухкомпонентной системы $\text{BeWO}_4\text{--BeCl}_2$ с использованием комплекса методов физико-химического анализа. По данным анализа установлено, что система является эвтектической. Впервые предложен и продемонстрирован синтез бериллий вольфрамата BeWO_4 как в растворах, так и в расплавах. Построенная фазовая диаграмма $\text{BeWO}_4\text{--BeCl}_2$ служит основой для определения оптимальных режимов синтеза BeWO_4 в расплавах. Разработанный метод синтеза имеет потенциал промышленного внедрения после необходимой валидации.

Ключевые слова: система, вольфраматы, эвтектика, диаграмма, ионные расплавы, синтез.

Baisangurova A.A.

Mutuzova M.Kh.

Deshiev M.-E.M.

CHEMICAL SYNTHESIS OF BERYLLIUM TUNGSTEN OXIDE BRONZES

A melting phase diagram for the binary $\text{BeWO}_4\text{--BeCl}_2$ system was constructed using a combination of physicochemical analysis methods. Analysis results indicate that the system is eutectic. A method for synthesizing beryllium tungstate (BeWO_4) in both solutions and melts is proposed and demonstrated for the first time. The constructed $\text{BeWO}_4\text{--BeCl}_2$ phase diagram serves as a basis for determining optimal conditions for the synthesis of BeWO_4 in melts. The developed synthesis method has the potential for industrial implementation following the necessary validation.

***Keywords:** system, tungstates, eutectic, phase diagram, ionic melts, synthesis.*

Монокристаллы на основе вольфраматов двухвалентных металлов находят практическое применение в качестве материалов детекторов рентгеновского излучения и тяжелых сцинтилляционных материалов, благодаря высокой плотности и радиационной стойкости [1–3].

Оксидные вольфрамовые бронзы – это перспективные материалы для изготовления анодов химических источников тока, катодов электролизных ванн, катализаторов в органическом синтезе, типографских красок, полупроводниковых диодов и датчиков давления [4, 5].

В исследованиях фазовых равновесий систем галогенид – вольфрамат металлов второй группы по физико-химическому анализу конденсированных солевых систем, бинарная система $\text{BeWO}_4\text{--BeCl}_2$ характеризуется как простая эвтектическая система с сильным сдвигом эвтектики в сторону легкоплавкого компонента. Экспериментальные числовые значения наших

исследований по фазовым диаграммам фиксируют координаты эвтектической точки (Е) в следующих интервалах, температура эвтектики $E\ 364\ ^\circ\text{C} \pm 4\ ^\circ\text{C}$ что на $35\ ^\circ\text{C}$ ниже температуры плавления чистого BeCl_2 , составляющей $399\ ^\circ\text{C}$. Состав эвтектики: 11.5 ± 1.0 мольн. % BeWO_4 , соответственно, BeCl_2 составляет 88.5 мольн. %. Такое сильное смещение эвтектической точки к оси ординат хлорида объясняется существенной разницей в энтальпиях плавления и температурах плавления компонентов: ликвидус BeWO_4 круто обрывается вниз даже при небольших добавках дихлорида бериллия. Таким образом, установлено, что между исходными компонентами отсутствует химическое взаимодействие. Система является простой эвтектической с неограниченной растворимостью компонентов в жидкой фазе и абсолютной нерастворимостью в твердой фазе.

На основе экспериментальных данных построена фазовая диаграмма конденсированного состояния квазибинарной системы $\text{BeWO}_4 - \text{BeCl}_2$. Диаграмма наглядно иллюстрирует крутой наклон ветви ликвидуса вольфрамата бериллия и сильное смещение эвтектической точки в сторону легкоплавкого хлорида.

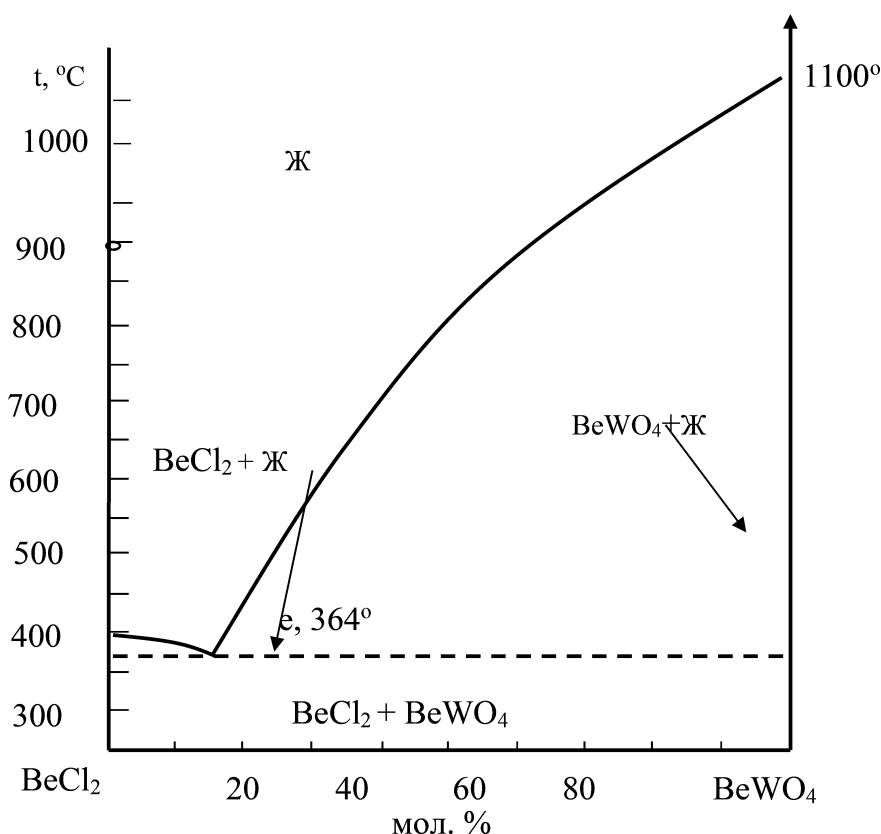


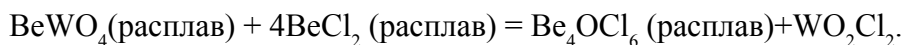
Рис. 1. Фазовая диаграмма состояния системы $\text{BeCl}_2 + \text{BeWO}_4$

Выше линии ликвидуса стабильное состояние однородного жидкого расплава Ж. Области между ликвидусом и солидусом гетерогенные зоны, где сосуществуют жидкий раствор эвтектического состава и кристаллы избыточного компонента BeCl_2 слева или BeWO_4 справа. Ниже линии солидуса полностью закристаллизованная твердая система, состоящая из механической смеси двух индивидуальных фаз.

В работе была проблема, что хлорид бериллия мог подвергаться гидролизу или контакт с кварцем при ультравысоких температурах. Если условия эксперимента нарушены (например, присутствует микропримесь кислорода/влаги) либо температуры плавления заэвтектических

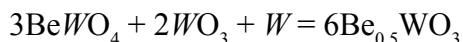
составов превышают 500–600 °С, в системе реализуется совершенно иной – неэвтектический исход. Из-за высокой химической активности BeCl_2 и склонности иона бериллия к координации с кислородом происходит частичная или полная деструкция вольфрамат-аниона с образованием оксихлоридов бериллия. Присутствие оксихлоридов (наиболее стабильным из которых в расплаве является оксихлорид состава Be_4OCl_6 , имеющий каркасную структуру, может кардинально менять фазовую диаграмму, превращая её из квазибинарной эвтектической в сложную многокомпонентную систему.

При нагревании заэвтектических смесей богатых BeWO_4 выше 500 °С в жидкой фазе протекает обменная реакция деструкции



Как это отражается на термическом анализе (ДТА). Диоксидхлорид вольфрама WO_2Cl_2 является крайне летучим соединением. Он возгоняется в газовую фазу ампулы, что сдвигает равновесие вправо и непрерывно меняет общий брутто-состав жидкого расплава. На кривых охлаждения ДТА исчезает классическая ветвь кристаллизации BeWO_4 . Вместо неё регистрируются тепловые эффекты выделения фазы оксихлорида бериллия Be_4OCl_6 . Вместо одного чёткого эвтектического пика при 354 °С на термограммах фиксируется каскад из нескольких низкотемпературных эффектов. Это связано с формированием тройных или квазичетверных эвтектик между BeCl_2 и Be_4OCl_6 и промежуточными хлороводными фазами. Таким образом, для получения истинной эвтектической диаграммы без оксихлоридов требуется строгое исключение контакта с кварцем при ультравысоких температурах (так как BeCl_2 может реагировать даже с SiO_2 с образованием Be_2SiO_4 и SiCl_4 и использование платиновых или графитовых тиглей в запаянных металлических ампулах.

Химический синтез оксидных вольфрамовых бронз бериллия проводили в несколько этапов согласно уравнения реакции



Полученная многофазная смесь коричневого цвета, в которой РФА идентифицированы фазы (рис. 2): $\text{Be}_{0,5}\text{WO}_3$, $\text{Be}_{0,51}\text{WO}_3$, $\text{Be}_{0,5}\text{WO}_3$, $\text{Be}_{0,52}\text{WO}_3$.

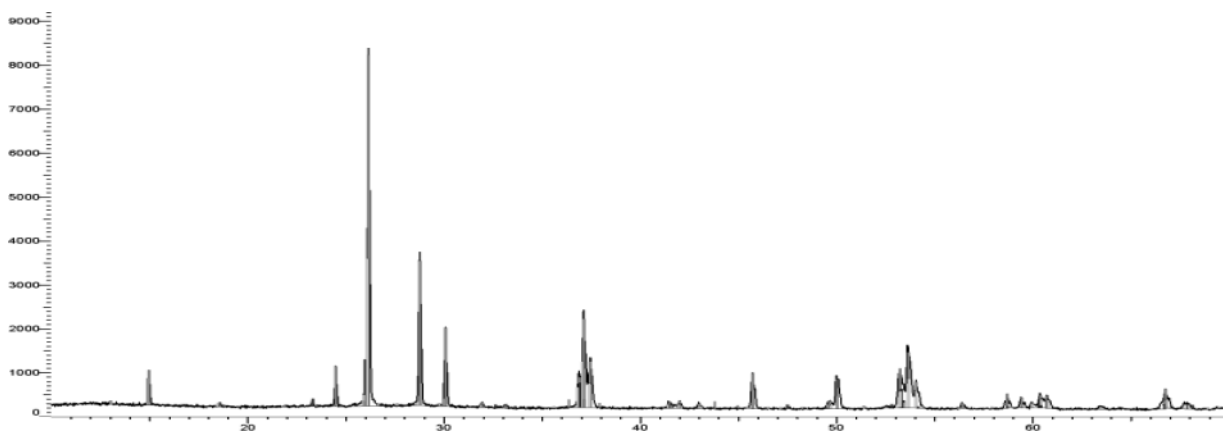


Рис. 2. Дифрактограмма образца состава 11,5% BeWO_4 соответственно, BeCl_2 составляет 88,5% при 364 °С

На основании полученных результатов по синтезу вольфрамата бериллия предложена технология синтеза в расплавах многокомпонентных систем, позволяющая не только синтезировать,

но и выращивать монокристалл вольфрамата бериллия из полученного низкотемпературного расплава методом Чохральского.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байсангурова А.А. Фазовые комплексы тройных оксидных систем $M_2O-CrO_3-WO_3$ (M-Na, K): специальность 02.00.01 «Неорганическая химия»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук / Байсангурова Айшат Алаудиновна. – Махачкала, 2009. – 22 с. – EDN NKSTCR.
2. Байсангурова А.А., Исаева П.М., Исаев М.М. Исследование фазовых равновесных состояний многокомпонентных солевых систем / В сборнике: инновационное развитие современной науки: теория, методология, практика. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Петрозаводск, 2021. – С. 50–54.
3. Байсангурова А.А., Магомадова М.А., Исаев М.М. Фазовые комплексы, формирующие невариантные точки системы // Естественные и технические науки. 2021. № 4 (155). – С. 32–34.
4. Байсангурова А.А., Магомадова М.А., Мурадова Л.Б. Выбор методов физико-химического анализа для получения новых материалов и термический анализ двухкомпонентной системы / В сборнике: Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии. Материалы научных трудов XV Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Л.А. Джигола. – Астрахань, 2021. – С. 3–6.
5. Байсангурова А.А., Магомадова М.А., Исаев М.М. Физико-химические методы анализа для получения новых материалов и фазовые равновесия двухкомпонентной системы / Естественные и технические науки. 2021. № 12. – С. 45–47.

Биологические науки

Физиология человека и животных

Ананьев В.Н., доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник (Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук)

Ананьев Г.В., врач, медицинский консультант

(АО «Фармстандарт», г. Долгопрудный)

Торшин В.И., доктор биологических наук, профессор

(Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы)

Проконьев Н.Я., доктор медицинских наук, профессор

(Тюменский государственный университет)

Ананьева О.В., доктор медицинских наук, профессор

(Тюменский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации)

Хромина С.И., кандидат биологических наук, доцент

(Тюменский индустриальный университет)

Гуртовой Е.С.

(Тюменский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации)

Филимонова В.С.

(Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.05

МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ АЛЬФА-1 И АЛЬФА-2 АДРЕНОРЕЦЕПТОРОВ АРТЕРИЙ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ МЫШЕЧНОЙ ГИПЕРЕМИИ

Научное сообщество проявляет значительный интерес к исследованию механизмов симпатолитизиса. Однако количественные и качественные аспекты изменения функциональной активности α_1 - и α_2 -адренорецепторов артерий в условиях рабочей мышечной гиперемии остаются недостаточно изученными. Особое внимание следует уделить исследованию различий между этими подтипами рецепторов, учитывая их различную локализацию в сосудистой системе и неодинаковую реакцию на эндогенные катехоламины

Ключевые слова: симпатоллизис, рабочая мышечная гиперемия, α_1 - и α_2 -адренорецепторы артерий.

Ananay V.N.
Ananay G.V.
Torshin V.I.
Prokopyev N.Ya.
Ananaya O.V.
Khromina S.I.
Gurtovoy E.S.
Filimonova V.S.

MECHANISMS OF REGULATION OF ALPHA-1 AND ALPHA-2 ADRENORECEPTORS OF ARTERIES IN FUNCTIONAL WORKING MUSCLE HYPEREMIA

The scientific community has shown significant interest in investigating the mechanisms of sympatholysis. However, the quantitative and qualitative aspects of changes in the functional activity of arterial α_1 - and α_2 -adrenergic receptors under conditions of muscular hyperemia remain poorly understood. Particular attention should be paid to investigating the differences between these receptor subtypes, given their different locations in the vascular system and their different responses to endogenous catecholamines.

Keywords: sympatholysis, muscular hyperemia, arterial α_1 - and α_2 -adrenergic receptors.

Введение

Симпатическая нервная система является ключевым регулятором тонуса периферических сосудов и системной гемодинамики. Норадреналин, высвобождаемый из постганглионарных симпатических окончаний, взаимодействует с α -адренорецепторами гладкомышечных клеток сосудистой стенки, обеспечивая вазоконстрикторный ответ. В условиях физической нагрузки, теплового стресса и других адаптивных реакций организма реализуется феномен симпатоллизиса – снижение эффективности симпатической вазоконстрикции в работающих мышцах, что позволяет многократно увеличить регионарный кровоток (Remensnyder J.P. et al., 1962) [1]. Несмотря на значительный интерес исследователей к механизмам симпатоллизиса, остаются недостаточно изученными количественные и качественные различия в изменении функциональной активности α_1 - и α_2 -адренорецепторов артерий в условиях симпатолитического воздействия. Особую актуальность приобретает изучение дифференциальной роли этих рецепторных подтипов, поскольку они имеют принципиально различную локализацию в сосудистом русле и по-разному реагируют на эндогенные катехоламины.

Методы исследования – обобщить современные представления о роли α_1 - и α_2 -адренорецепторов артерий в реализации симпатоллизиса, проанализировать их анатомо-функциональные различия и оценить степень вовлечённости каждого подтипа в процессы ослабления симпатической вазоконстрикции при анализе литературных источников базы данных PubMed.

Результаты исследования и обсуждение

α -Адренорецепторы представляют собой семейство трансмембранных рецепторов, сопряжённых с G-белками. На основании фармакологических и молекулярно-биологических критериев выделяют два основных типа – α_1 - и α_2 -адренорецепторы.

α_1 -Адренорецепторы: локализация и лигандная специфичность

α_1 -адренорецепторы являются классическими постсинаптическими рецепторами, преимущественно локализованными в интраюнкциональной (внутрисинаптической) области нейроэффektorного соединения (van Brummelen P. et al., 1986) [2]. Это означает, что они расположены

в непосредственной близости от мест высвобождения норадреналина из симпатических терминалей, что обеспечивает их эффективную активацию даже при низких концентрациях нейромедиатора.

Исследования показали, что α_1 -адренорецепторы присутствуют на гладкомышечных клетках артерий различного калибра – от крупных проводящих артерий до резистивных артериол (Nielsen H. et al., 1990) [3]. В проксимальных отделах артериального русла α_1 -адренорецепторы являются доминирующим подтипом, обеспечивающим вазоконстрикторный ответ на симпатическую стимуляцию (Flavahan N.A. et al., 1987) [4].

Что касается лигандной специфичности, норадреналин является основным эндогенным агонистом α_1 -адренорецепторов. Согласно данным исследований, норадреналин проявляет высокое сродство к α_1 -подтипу, что обусловлено его физиологической ролью как основного нейромедиатора симпатической нервной системы (Jie K. et al., 1987) [5]. В работах с использованием селективных антагонистов было показано, что празозин (α_1 -селективный антагонист) эффективно блокирует норадреналин-индуцированные сокращения артерий, что подтверждает ведущую роль α_1 -рецепторов в опосредовании ответа на норадреналин (Nielsen H. et al., 1990) [3].

α_2 -Адренорецепторы: локализация и лигандная специфичность

В отличие от α_1 -рецепторов, постсинаптические α_2 -адренорецепторы расположены преимущественно экстраюнкционально – вне непосредственной области нейроэффекторного соединения (Langer S.Z. et al., 1986) [6]. Эта особенность имеет важное функциональное значение: для активации α_2 -рецепторов требуются более высокие концентрации агониста, поскольку они находятся на некотором удалении от мест высвобождения нейромедиатора (van Brummelen P. et al., 1986) [2].

Критической особенностью распределения α_2 -адренорецепторов является их преимущественная локализация в дистальных отделах артериального русла. Flavahan et al., (1987) [4] показали, что в дистальных артериях конечностей человека α_2 -адренорецепторы более выражены по сравнению с проксимальными артериями. Это было продемонстрировано с использованием селективного α_2 -агониста В-НТ 920, который вызывал значительно большие сократительные ответы в дистальных артериях. Medgett I.C. (1985) [7] подтвердил эти данные на модели хвостовой артерии крысы, показав, что постсинаптические α_2 -адренорецепторы в значительной степени опосредуют симпатическую вазоконстрикцию в дистальных сегментах.

В отношении лигандной специфичности адреналин проявляет большее сродство к α_2 -адренорецепторам по сравнению с норадреналином. Rajanayagam M. и Medgett I.C. (1987) [8] показали, что активация гладкомышечных α_2 -адренорецепторов эпинефрином (адреналином) выражена в значительно большей степени в дистальных сегментах хвостовой артерии крысы по сравнению с проксимальными. Эти данные согласуются с представлением о том, что адреналин, циркулирующий в крови как гормон мозгового слоя надпочечников, является физиологическим агонистом для экстраюнкционально расположенных α_2 -рецепторов (Jie K. et al., 1987) [5].

Термин «симпатоллизис» (функциональный симпатоллизис) был введен Remensnyder J.P. et al., (1962) [1] для обозначения снижения эффективности симпатической вазоконстрикции в работающих скелетных мышцах. Этот физиологический феномен имеет критическое значение для обеспечения адекватного кровоснабжения активно функционирующих тканей, когда метаболические потребности мышц требуют значительного увеличения объёмного кровотока.

В основе симпатоллизиса лежат несколько механизмов. Прежде всего, это конкурентное ингибирование α -адренорецепторов метаболитами, накапливающимися в работающих мышцах (аденозин, лактат, ионы водорода, калия). Кроме того, важную роль играет эндотелийзависимая вазодилатация, опосредованная оксидом азота (NO), а также изменения в количестве и чувствительности самих α -адренорецепторов (Buckwalter J.B. et al., 2004) [9].

Симпатоллизис и роль альфа-1 и альфа-2 адренорецепторов артерий работающих мышц

Ключевым вопросом является то, в какой степени симпатоллизис влияет на α_1 - и α_2 -адренорецепторы, и различается ли это влияние для каждого подтипа. Многочисленные экспериментальные исследования позволяют провести сравнительный анализ.

Buckwalter J.B. et al., (2001) [10] в исследовании на собаках с использованием внутриартериальных инфузий селективных агонистов показали, что α_1 -адренергическая реактивность (фенилэфрин селективный α_1 -адреномиметик) ослабляется при интенсивной физической нагрузке. Сокращение артерий на α_2 -адренергическую реактивность (клонидин селективный миметик α_2 -АР) ослаблялась уже при лёгкой интенсивности нагрузки. Эти данные свидетельствуют о том, что α_2 -рецепторы более чувствительны к симпатоллизису при мышечном сокращении.

Rosenmeier J.B. et al., (2003) [11] в исследовании на людях подтвердили, что как α_1 -, так и α_2 -опосредованная вазоконстрикция ослабляется в сокращающейся скелетной мышце. Однако авторы отметили, что степень ослабления различна для двух подтипов.

Bubolz A.H. et al., (2014) [12] в работе на скелетных мышечных питающих артериях человека показали, что максимальная величина α_2 -индуцированных сокращений была значительно меньше, чем величина α_1 -индуцированных сокращений ($59 \pm 5\%$ и $12 \pm 4\%$ от максимального сокращения соответственно). При тепловом стрессе (модель симпатоллизиса) наблюдалось ослабление как α_1 -, так и α_2 -адренергической реактивности, однако механизмы этого ослабления различались.

Различия в чувствительности α_1 - и α_2 -адренорецепторов к симпатоллизису могут быть объяснены несколькими факторами.

Во-первых, экстраюнкциональная локализация α_2 -рецепторов делает их более доступными для метаболитов, накапливающихся в интерстиции работающих мышц (лактат, аденозин, ионы водорода). Эти метаболиты могут конкурентно ингибировать α_2 -рецепторы или модулировать их сигнальные пути (Buckwalter J.B. et al., 2004) [9].

Во-вторых, α_2 -адренорецепторы в большей степени зависят от эндотелийзависимых механизмов вазодилатации. Активация эндотелиальных рецепторов и высвобождение NO могут преимущественно ослаблять α_2 -опосредованную вазоконстрикцию (Ohyuagagi M. et al., 1992) [13].

В-третьих, различия в внутриклеточных сигнальных каскадах α_1 - и α_2 -рецепторов определяют их разную чувствительность к метаболическим изменениям. Рецепторы- α_1 сопряжены с фосфолипазой C и мобилизацией внутриклеточного кальция, тогда как α_2 -рецепторы связаны с ингибированием аденилатциклазы и уменьшением цАМФ (Timmermans P. et al., 1981) [14]. Эти различия могут обуславливать разную степень ослабления при симпатоллизисе (Ананьев В.Н. и др., 2025) [15].

Заключение

Симпатоллизис является важным физиологическим механизмом, обеспечивающим адекватную перфузию работающих мышц путём ослабления α -адренергической вазоконстрикции. Ключевую роль в этом процессе играют оба подтипа постсинаптических α -адренорецепторов артерий, однако степень их вовлечённости существенно различается.

α_1 -Адренорецепторы, локализованные интраюнкционально в проксимальных отделах артерий и преимущественно активируемые норадреналином, демонстрируют меньшую чувствительность к симпатоллизису (усилению кровотока) и ослабляются преимущественно при интенсивной физической нагрузке. Напротив, α_2 -адренорецепторы, расположенные экстраюнкционально в дистальных отделах артериального русла и в большей степени активируемые адреналином, проявляют значительно большую чувствительность к симпатоллизису и ослабляют свое пресорное действие уже при лёгкой физической нагрузке.

Выявленные различия имеют важное значение для понимания механизмов регионарной регуляции кровотока и могут служить основой для разработки новых терапевтических подходов при нарушениях периферической гемодинамики, особенно в условиях экстремальных физических нагрузок и при возрастных изменениях сосудистой реактивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Remensnyder J.P., Mitchell J.H., Sarnoff S.J.* Functional sympatholysis during muscular activity. Observations on influence of carotid sinus on oxygen uptake // *Circulation Research*. 1962. Vol. 11. – P. 370–380. DOI: 10.1161/01.RES.11.3.370
2. *van Brummelen P., Jie K., van Zwieten P.A.* Alpha-adrenergic receptors in human blood vessels // *British Journal of Clinical Pharmacology*. 1986. Vol. 21, Suppl. 1. – P. 33–39 P. DOI: 10.1111/j.1365-2125.1986.tb02851.x
3. *Nielsen H., Mortensen F.V., Mulvany M.J.* Responses to noradrenaline in human subcutaneous resistance arteries are mediated by both α_1 - and α_2 -adrenoceptors // *British Journal of Pharmacology*. 1990. Vol. 99, No. 1. – P. 31–34. DOI: 10.1111/j.1476-5381.1990.tb14649.x
4. *Flavahan N.A., Cooke J.P., Shepherd J.T., Vanhoutte P.M.* Human postjunctional alpha-1 and alpha-2 adrenoceptors: differential distribution in arteries of the limbs // *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 1987. Vol. 241, No. 2. – P. 361–365. PMID: 3033211
5. *Jie K., van Brummelen P., Vermey P., Timmermans P.B.M.W.M., van Zwieten P.A.* Postsynaptic α_1 - and α_2 -adrenoceptors in human blood vessels: interactions with exogenous and endogenous catecholamines // *European Journal of Clinical Investigation*. 1987. Vol. 17. – P. 174–181. DOI: 10.1111/j.1365-2362.1987.tb02397.x
6. *Langer S.Z., Hicks P.E.* Spare alpha adrenoceptors in the peripheral circulation: excitation-contraction coupling // *Federation Proceedings*. 1986. Vol. 45, No. 9. – P. 2341–2346. PMID: 3015687
7. *Medgett I.C.* alpha2-Adrenoceptors mediate sympathetic vasoconstriction in distal segments of rat tail artery // *European Journal of Pharmacology*. 1985. Vol. 108, No. 3. – P. 281–287. DOI: 10.1016/0014-2999(85)90450-9
8. *Rajanayagam M.A.S., Medgett I.C.* Greater activation of smooth muscle alpha-2 adrenoceptors by epinephrine in distal than in proximal segments of rat tail artery // *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 1987. Vol. 240, No. 3. – P. 989–997. PMID: 3033227
9. *Buckwalter J.B., Mueller P.J., Clifford P.S.* Role of nitric oxide in exercise sympatholysis // *Journal of Applied Physiology*. 2004. Vol. 97, No. 1. – P. 417–423. DOI: 10.1152/jappphysiol.01181.2003
10. *Buckwalter J.B., Naik J.S., Valic Z., Clifford P.S.* Exercise attenuates α -adrenergic-receptor responsiveness in skeletal muscle vasculature // *Journal of Applied Physiology*. 2001. Vol. 90, No. 1. – P. 172–178. DOI: 10.1152/jappl.2001.90.1.172
11. *Rosenmeier J.B., Dinunno F.A., Fritzlar S.J., Joyner M.J.* α_1 - and α_2 -adrenergic vasoconstriction is blunted in contracting human muscle // *The Journal of Physiology*. 2003. Vol. 547, No. 3. – P. 971–976. DOI: 10.1113/jphysiol.2002.037937
12. *Bubolz A.H., Mendoza S.A., Zheng X., Zinkevich N.S., Li R., Gutterman D.D., Zhang D.X.* α_1 - and α_2 -adrenergic responsiveness in human skeletal muscle feed arteries: the role of TRPV ion channels in heat-induced sympatholysis // *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*. 2014. Vol. 307, No. 9. – P. H1288–H1297. DOI: 10.1152/ajpheart.00068.2014
13. *Ohyanagi M., Nishigaki K., Faber J.E.* Interaction between microvascular α_1 - and α_2 -adrenoceptors and endothelium-derived relaxing factor // *Circulation Research*. 1992. Vol. 71, No. 1. – P. 188–200. DOI: 10.1161/01.RES.71.1.188
14. *Timmermans P.B.M.W.M., van Zwieten P.A.* The postsynaptic α -adrenoceptor // *Journal of Autonomic Pharmacology*. 1981. Vol. 1, No. 2. – P. 171–183. DOI: 10.1111/j.1474-8673.1981.tb00509.x
15. *Ананьев В.Н., Ананьев Г.В., Торшин В.И., Ананьева О.В.* Адренорецепторные механизмы функционального симпатолизиса в регуляции регионального кровотока на эпинефрин на фоне 5-дневной холодовой адаптации // *Экология человека*. 2025. Т. 32, № 1. – С. 64–73. – DOI 10.17816/humeco678047.

Биотехнология

Архипов А.А., ассистент

(Московский политехнический университет; МИРЭА – Российский технологический университет)

Соколов А.С., кандидат технических наук, доцент

Шумова Н.В., кандидат технических наук, доцент

(МИРЭА – Российский технологический университет)

Даянова Д.Д., кандидат физико-математических наук, доцент

(Московский политехнический университет)

Козлов А.В., старший преподаватель (МИРЭА – Российский технологический университет)

Голованов И.Ю., кандидат технических наук, доцент

(Московский политехнический университет)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ БИО- И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Трехмерная биопечать обычно рассматривается как инструмент тканевой инженерии, однако принципы пространственного размещения клеток и биополимеров могут быть востребованы в биотехнологической и химической промышленности. В работе обобщены требования к аппаратурному комплексу биопечати и выделены направления его промышленной адаптации. Наибольший интерес представляют печатные со сменными картриджами с иммобилизованными микроорганизмами, перфузионные микрореакторы, тест-системы и модули биологической очистки.

Ключевые слова: 3D-биопечать, иммобилизованные клетки, биореактор, перфузия, биотехнология, химическая промышленность, цифровой двойник.

Arhipov A.A.

Sokolov A.S.

Shumova N.V.

Dayanova D.D.

Kozlov A.V.

Golovanov I.Yu.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF APPARATURAL DESIGN FOR BIO- AND CHEMICAL-TECHNOLOGICAL PROCESSES

Three-dimensional bioprinting is usually considered a tool for tissue engineering; however, the principles of spatial arrangement of cells and biopolymers may be in demand in the biotechnological and chemical industries. The paper summarizes the requirements for the bioprinting hardware complex and identifies the

directions for its industrial adaptation. Of greatest interest are printing devices with replaceable cartridges containing immobilized microorganisms, perfusion microreactors, test systems, and biological treatment modules.

Keywords: 3D bioprinting, immobilized cells, bioreactor, perfusion, biotechnology, chemical industry, digital twin.

Введение

Трехмерная биопечать представляет собой послойное формирование объектов из клеток и биосовместимых материалов. Ее результат определяется геометрической точностью, жизнеспособностью клеток, массопереносом и устойчивостью матрицы. Поэтому биопринтер является частью технологической цепочки, включающей подготовку биочернил, печать, сшивку, культивирование и контроль качества [1–3]. Для химической промышленности биопечать перспективна как способ создания реакционных сред с заданным распределением микроорганизмов, ферментов, каналов и функциональных зон. Цель работы – определить аппаратные решения для применения биопечати в биокатализе, микробном синтезе и экологических процессах.

Материалы и методы

Проведены оценка и анализ производительности, воздействия на клетки, управляемости массопереноса, возможности автоматизации и перспектив масштабирования в био- и химических технологиях. Показана возможность роста клеточных культур на поверхностях прецизионного сплава 36НХТЮ.

Аппаратурные предпосылки промышленного применения

Наиболее пригодна для промышленной адаптации экструзионная печать, работающая с вязкими гидрогелями и клеточными суспензиями. Ее основным недостатком являются сдвиговые напряжения в сопле, снижающие жизнеспособность клеток. Поэтому целесообразно применять гибридные платформы, сочетающие экструзию, локальное дозирование и сшивку [2–4]. Базовый комплекс включает печатающую головку, дозатор, трехкоординатный привод, термостатируемую платформу, модуль сшивки, закрытую камеру и средства мониторинга. Для промышленного применения необходимы сменные стерильные тракты, минимальный мертвый объем, автоматическая промывка и химическая стойкость деталей. Цифровая модель должна учитывать внешнюю форму, пористость, каналы и распределение клеток. Датчики давления, температуры, расхода, кислотности и растворенного кислорода позволяют корректировать режим печати и сшивки. Главным ограничением остается массоперенос. При высоком критерии Дамкёлера необходимо уменьшать расстояние между каналами, усиливать перфузию или снижать плотность клеток [1].

Требования к биочернилам и сменным модулям

Биочернила должны сохранять свойства при изменении кислотности, ионной силы, температуры и состава среды в течение всего рабочего цикла. Биологический картридж и контактирующий с ним тракт целесообразно выполнять сменными, сохраняя привод, оптику и аналитические модули для многократного использования. Это упрощает стерилизацию и предотвращает перекрестную контаминацию.

Перспективы для процессов химической промышленности

Печатные биокаталитические картриджи с иммобилизованными микроорганизмами или ферментами могут применяться для получения органических кислот, ферментов, метаболитов и продуктов тонкого химического синтеза [1, 5]. Структуры с градиентами состава и пористости позволяют пространственно разделять стадии подготовки субстрата, основной реакции и утилизации побочных соединений, создавая компактные каскадные биореакторы. Интеграция машинного зрения и цифрового двойника обеспечивает прогнозирование деформации матрицы, движения потоков и истощения субстрата с последующей корректировкой геометрии каналов и режима перфузии. Биопечать также перспективна для очистки и переработки отходов благодаря

воспроизводимой геометрии носителей и совмещению сорбционных и биокаталитических зон. Экспериментально подтвержден рост клеточных культур на поверхности прецизионного сплава 36НХТЮ (рис. 1).



Рис. 1. Клеточные культуры на поверхности образца из сплава 36НХТЮ.

В натурных опытах определяли режимные и конструктивные параметры биореакторов, обеспечивающие наиболее интенсивный рост клеток.

Критерии промышленной эффективности

В качестве аппаратного прототипа может рассматриваться запатентованный аппарат объемного культивирования клеток (рис. 2) [6, 7].

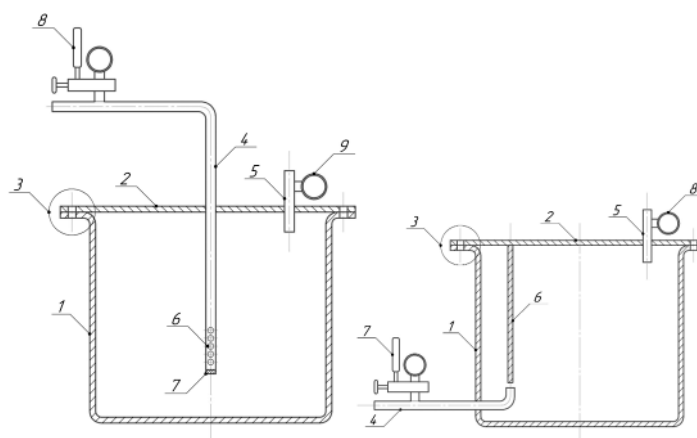


Рис. 2. Аппараты объемного культивирования клеток [6, 7]: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – фланцевое соединение; 4 – штуцер подачи газовой смеси; 5 – штуцер отвода газовой смеси; 6 – перфорация штуцера подачи газовой смеси [6] и стержень для наращивания биомассы [7]; 7 – герметичная заглушка [6] и редуктор с расходомером [7]; 8 – редуктор с расходомером [6] и газоанализатор [7]; 9 – газоанализатор [6]

При промышленной адаптации такие схемы могут служить основой перфузионного модуля со сменными печатными элементами, стерильными соединениями и встроенными датчиками. Для масштабирования предпочтительно не простое увеличение линейных размеров, а увеличение числа одинаковых модулей. Такой подход облегчает валидацию, поскольку каждый модуль выпускается по единой цифровой модели и контролируется одинаковым набором датчиков.

Одним из методов биофабрикации является создание перфузируемой сети каналов, обеспечивающих транспорт нутриентов к клеткам. Математическое описание данного процесса базируется на анализе диффузионного профиля вокруг цилиндрического канала. Применение модели Крога в цилиндрических координатах позволяет получить логарифмическое распределение концентрации субстрата с максимумом в межканальном пространстве. Определение оптимальной геометрии сетки каналов осуществляется с учетом критерия Дамкёлера:

$$Da = \frac{\rho \cdot V \cdot d^2}{D \cdot C},$$

где Da – критерий Дамкёлера; ρ – объемная плотность клеток (число клеток в единице объема конструкта), кл/м³; V – скорость потребления кислорода одной клеткой, моль/(с·кл); d – расстояние между соседними перфузионными каналами, м; D – коэффициент диффузии кислорода в гидрогеле, м²/с; C – концентрация кислорода на поверхности конструкта или на границе со средой культивирования, моль/м³.

Переход к производству требует закрытой линии, объединяющей приготовление биочернил, печать, сшивку, запуск перфузии и неразрушающий контроль.

Заключение

Перспективы биопечати в химической промышленности связаны с проектированием пространственно организованных биокаталитических систем, а не только с задачами тканевой инженерии. Ключевыми инженерными задачами остаются снижение повреждения клеток, управление массопереносом, долговременная устойчивость матриц, автоматизация контроля и стандартизация оборудования. Наиболее перспективна гибридная модульная платформа с микрофлюидными головками, сенсорной обратной связью и цифровым двойником, интегрированная с перфузионным биореактором в единую закрытую технологическую линию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ перспективных направлений в конструировании биореакторов для объемного культивирования клеток / Н.В. Шумова, Е.К. Королев, А.В. Вязьмин [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2025. № 3 (52). – С. 11–19.
2. 3D-биопечать как метод тканевой инженерии: применение и перспективы / А.М. Аймалетдинов, А.Г. Маланьева, М.А. Тамбовский, Е.Ю. Закирова // Биотехнология. 2024. Т. 40, № 2. – С. 3–22.
3. Введение в 3D-биопринтинг: история формирования направления, принципы и этапы биопечати / Ю.Д. Хесуани, Н.С. Сергеева, В.Миронов [и др.] // Гены и клетки. 2018. Т. 13, № 3. – С. 38–45.
4. Целуйко С.С. 3D-биопечать на службе дыхательной системы (обзор литературы) / С.С. Целуйко, В.А. Кушнарв // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2016. № 61. – С. 128–134.
5. Кокиева Г.Е. Исследование оборудования микробного синтеза / Г.Е. Кокиева, Ю.А. Шапошников, В.С. Трофимова // Ползуновский вестник. 2026. № 1. – С. 64–67.
6. Патент на полезную модель № 232419 U1 Российская Федерация, МПК С12М 3/00. Биореактор: заявл. 03.01.2025; опубл. 11.03.2025 / А.А. Архипов, М.В. Котельный, Т.И. Громо-вых [и др.].
7. Патент на полезную модель № 233041 U1 Российская Федерация, МПК С12М 3/00. Биореактор: заявл. 03.01.2025; опубл. 02.04.2025 / А.А. Архипов, М.В. Котельный, Т.И. Громо-вых [и др.].

Генетика

Кегадуев И.А., аспирант

Паритов А.Ю., кандидат биологических наук, зав. кафедрой

Боготова З.И., кандидат биологических наук, доцент

Гогузов Т.Х., кандидат биологических наук, доцент

Чепракова А.А., кандидат биологических наук, доцент

Хандохов Т.Х., кандидат биологических наук, доцент

(Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ, СЦЕПЛЕННЫХ С ЛОКУСАМИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ФУЗАРИОЗНОЙ ГНИЛИ ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ

*В работе представлены результаты идентификации молекулярных маркеров, сцепленных с локусами количественных признаков (QTL), которые контролируют устойчивость кукурузы к фузариозной гнили початков (FER, вызываемой грибами рода *Fusarium*. Устойчивость к этому комплексу патогенов – сложный полигенный признак, определяемый действием множества генов, каждый из которых вносит небольшой вклад. Для его изучения применяют подходы QTL-картирования на популяциях рекомбинантных инбредных линий (RIL) и линий замещения хромосомных сегментов.*

Ключевые слова: кукуруза, фузариозная гниль, локус, маркер, ген, хромосома.

Kegaduev I.A.

Paritov A.Y.

Bogotova Z.I.

Goguzokov T.Kh.

Cheprakova A.A.

Khandokhov T.Kh.

IDENTIFICATION OF MOLECULAR MARKERS LINKED TO QUANTITATIVE TRAIT LOCI FOR RESISTANCE TO FUSARIUM CORN CANKER

*The paper presents the results of identifying molecular markers linked to quantitative trait loci (QTL) that control corn resistance to *Fusarium* ear rot (FER, caused by fungi of the genus *Fusarium*. Resistance to this complex of pathogens is a complex polygenic trait determined by the action of multiple genes, each of which makes a small contribution. To study it, QTL mapping approaches are used on populations of recombinant inbred lines (RIL) and chromosome segment substitution lines.*

Keywords: corn, *Fusarium* rot, locus, marker, gene, chromosome.

Фузариозная гниль, вызываемая грибами рода *Fusarium*, является тяжелым почвенным заболеванием. Исследователи [1] идентифицировали пять локусов количественных признаков (QTL), ассоциированных с устойчивостью к FCR, на хромосомах 3A, 3B, 4B и 6A, используя

популяцию из 128 рекомбинантных инбредных линий F₇, полученных в результате скрещивания двух китайских сортов 04zhong 36 и Jinxiu 21. Из этих QTL два основных QTL, QFsr.cau-3A и QFsr.cau-4B.1, стабильно выявлялись в ходе многочисленных исследований и объясняли 14,06% и 18,09% фенотипической дисперсии соответственно, основываясь на данных наилучшего линейного несмещенного прогнозирования (BLUP).

Другими исследователями [2] были использованы для построения карты генетических связей сто тридцать девять полиморфизмов длины рестрикционных фрагментов (RFLP) и для идентификации локусов количественных признаков (QTL), ассоциированных с устойчивостью к кукурузному початку (*Helicoverpa zea* Boddie) в популяции из 103 линий, полученных от скрещивания F₂ из «Кобба» (восприимчивого) и PI229358 (устойчивого). Карта генетических связей состояла из 128 маркеров, которые объединялись в 30 групп, охватывающих приблизительно 1325 см. Линии, полученные от F₂, и оба родительских вида были выращены в полевых условиях в пластиковой сетчатой клетке. Растения были искусственно заражены кукурузным початком и оценены на степень дефолиации. С помощью интервального анализа для выявления взаимосвязанных маркеров и однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) маркеры были протестированы на связь с резистентностью. В этой популяции были идентифицированы один основной и два второстепенных QTL, указывающие на резистентность [2].

Основной задачей наших исследований было выявление молекулярных признаков (наличия специфических аллелей маркеров), ассоциированных с QTL устойчивости, путем анализа их сегрегации в популяции F₂. Результаты ПЦР-скрининга 16 линий F₂ и 4 стандартов по трем маркерам представлены на рисунке 1.

Анализ молекулярного признака umc2013. Маркер umc2013 относится к классу SSR (микросателлиты), которые обычно являются кодоминантными. Однако в нашем эксперименте оценивалось присутствие или отсутствие конкретного целевого фрагмента (аллеля), важного для селекции. Согласно литературным данным [3], аллель устойчивости для маркера umc2013 имеет меньший размер, чем у восприимчивых образцов. Однако анализ электрофореграмм показал, что в нашей выборке F₂ маркер umc2013 не выявил полиморфизма. Аллель «+» присутствует только у стандарта МБК. Во всех 16 линиях F₂, а также у стандартов ТШ, КБЗ и С430 данный молекулярный признак отсутствовал.

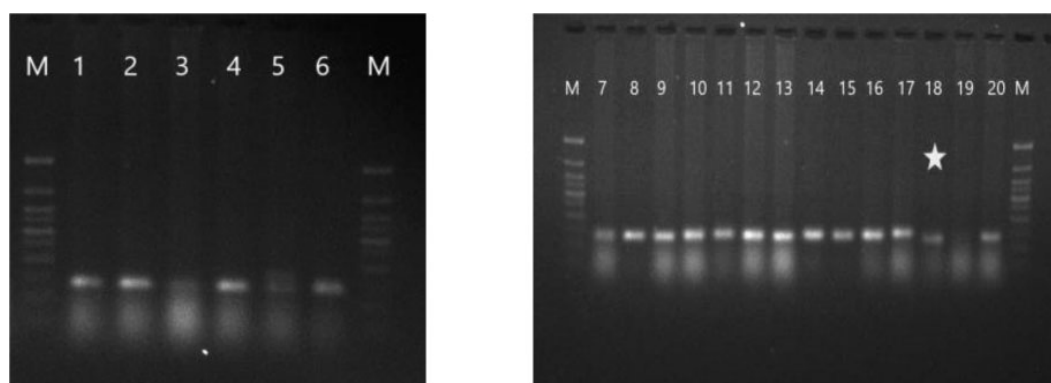


Рис. 1. Электрофоретическое разделение ампликонов SSR-маркера umc2013
(М – маркер молекулярной массы; 1–20 – инбредные линии кукурузы)

Анализ представленных изображений гелей электрофореза (дорожки 1–6 и 7–20) и графика распределения аллелей маркера umc2013 показал, что на дорожках 1–17 (все тетраплоидные линии) и 20 (С430) наблюдается четкая, интенсивная полоса (ампликон)

одинакового молекулярного веса, что свидетельствует о наличии стандартного аллеля umc2013 у подавляющего большинства исследованных инбредных линий тетраплоидной кукурузы. На дорожке 18 (отмечена звездочкой) наблюдается полиморфизм – полоса смещена ниже (имеет меньшую длину фрагмента) либо значительно слабее выражена. Это указывает на альтернативный аллельный вариант у стандарта МБК. На дорожке 19 полоса полностью отсутствует (нуль-аллель или отсутствие амплификации), что также выделяет стандарт КБЗ из общего массива.

Для кодоминантного микросателлитного маркера (SSR) индекс полиморфного информационного содержания (PIC) рассчитывается по классической формуле Д. Ботштейна [4]. На основе анализа гелей электрофореза для 20 инбредных линий показатель PIC составляет 0,1769 (или 0,1850 при расчете по упрощенной формуле, ожидаемой гетерозиготности). В генетике маркеры с PIC <0,25 считаются слабоинформативными.

В ходе проведенного скрининга 20 инбредных линий кукурузы по микросателлитному локусу umc2013 был выявлен низкий уровень аллельного разнообразия. У подавляющего большинства исследованных образцов (18 линий из 20, или 90%) идентифицирован мажорный аллельный вариант со стабильной электрофоретической подвижностью. Полиморфизм длин ампликонов отмечен лишь у единичных генотипов: линия № 18 характеризовалась наличием альтернативного короткого аллеля, а у линии № 19 амплификация полностью отсутствовала (нуль-аллель). Расчет индекса полиморфного информационного содержания по формуле Ботштейна показал [4], что значение PIC для маркера umc2013 в данной выборке составляет 0,1769 (индекс ожидаемой гетерозиготности (H_e) = 0,1850). Согласно общепринятой классификации, маркеры с показателем PIC <0,25 относятся к категории слабоинформативных. Низкое генетическое разнообразие локуса подтвердилось и при анализе расщепляющейся популяции (F_2) ($n = 16$), в которой зафиксирован полный мономорфизм – целевой аллель, характерный для стандарта МБК, у проростков отсутствовал. Таким образом, из-за высокой частоты мажорного аллеля ($p = 0,90$) и мономорфной структуры в гибридном потомстве, SSR-маркер umc2013 признан неэффективным и непригодным для маркер-ориентированной селекции (MAS) внутри изученного селекционного материала.

Анализ молекулярного признака umc2059. Анализ аллельного состояния микросателлитного локуса umc2059 среди 20 инбредных линий кукурузы продемонстрировал крайне низкий уровень генетического разнообразия (рис. 2). У 95% исследованных образцов (19 линий из 20) зафиксирован мажорный аллельный вариант со стабильной электрофоретической подвижностью фрагментов. Исключение составила линия № 19 (КБЗ), на дорожке которой визуализировался гетеродуплексный профиль из двух полос, что указывает на остаточную гетерозиготность или дупликацию целевого локуса в данном генотипе. Низкий полиморфизм маркера подтвердился при анализе расщепляющегося поколения. Как показано на рисунке 10, в популяции (F_2) ($n = 16$) полностью отсутствует ожидаемое менделевское расщепление: все 16 проанализированных проростков оказались идентичными гомозиготами по мажорному аллелю («Гомозигота (+)»). Альтернативный гетерозиготный генотип («Гетерозигота (pm)») был обнаружен только у контрольного стандарта КБЗ. Таким образом, целевой аллель полностью зафиксирован в популяции, а маркер umc2059 является мономорфным и не пригодным для маркер-ориентированной селекции (MAS) внутри данного селекционного материала.

Если локус umc2013 за счет обнаружения двух редких вариантов (линии 18 (МБК) и 19(КБЗ)) сохраняет минимальную ценность для паспортизации исходных линий, то локус umc2059 из-за значения (PIC = 0,0905) практически полностью утратил селекционную информативность в пределах данной генетической панели. В расщепляющихся популяциях (F_2) оба маркера закономерно показали нулевую эффективность.

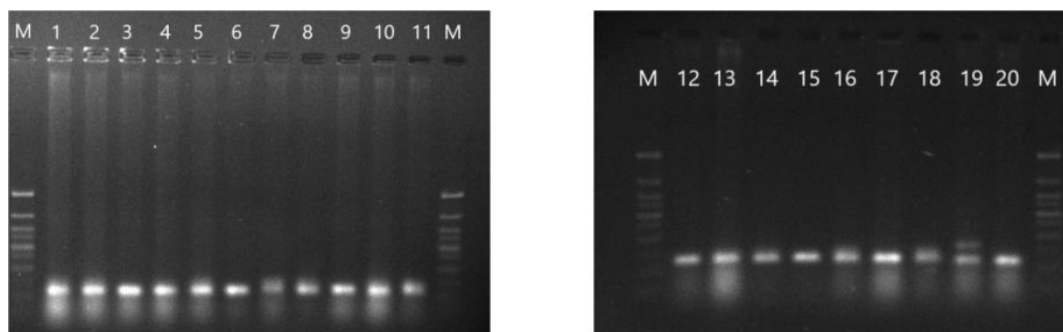


Рис. 2. Электрофоретическое разделение ампликонов SSR-маркера *umc2059* (M – маркер молекулярной массы; 1–20 – инбредные линии кукурузы)

Анализ маркера SSR85 и статистическая оценка. Молекулярный скрининг 20 инбредных линий кукурузы по микросателлитному локусу SSR85 выявил высокий уровень полиморфизма (рис. 3). В исследуемой панели идентифицировано четыре аллельных состояния: мажорный аллель промежуточной длины (65% выборки) и альтернативный короткий аллель (15%). Столь высокая вариабельность указывает на перспективность использования локуса SSR85 для генотипирования и паспортизации коллекционного материала. Однако анализ расщепляющейся популяции (F_2) ($n = 16$) выявил аномальный характер наследования данного признака. Наблюдаемое соотношение генотипов (1 Гомозигота (+): 2 Гетерозиготы (pm): 13 Гомозигот (–)) продемонстрировало резкое статистическое отклонение от классического менделевского распределения 1:2:1 ($\chi^2 = 27,0$); ($df = 2$); ($p < 0,001$). Выявленный дефицит гетерозигот и избыток гомозигот (–) указывает на явление гаметического отбора (дифференциальной жизнеспособности гамет) либо сцепление локуса SSR85 с летальными/сублетальными генами, снижающими выживаемость проростков с альтернативными генотипами.

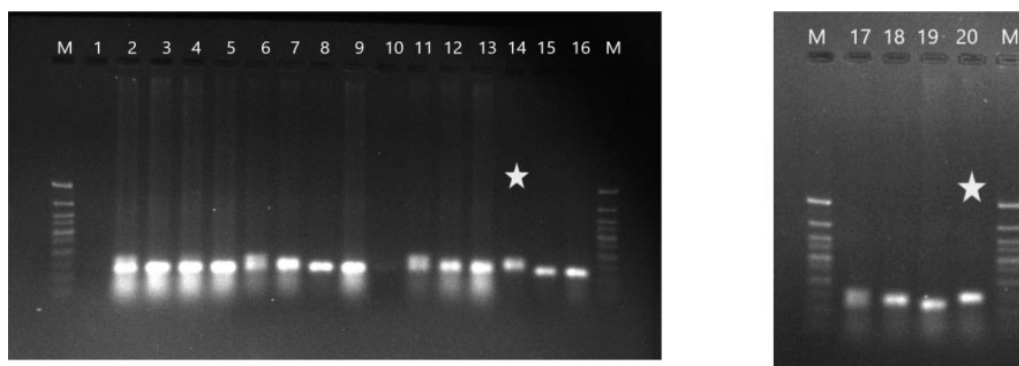


Рис. 3. Электрофоретическое разделение ампликонов SSR-маркера *SSR85* (M – маркер молекулярной массы; 1–20 – инбредные линии кукурузы)

Для микросателлитного маркера SSR85 точный индекс полиморфного информационного содержания (PIC) по формуле Ботштейна составляет 0,4901 (а индекс ожидаемой гетерозиготности по индексу Нея ($H_e = 0,5250$)). Этот показатель математически подтверждает, что локус SSR85 является наиболее эффективным среди всех трех изученных маркеров для дифференциации инбредных линий. В отличие от локусов *umc2013* ($PIC = 0,1769$) и *umc2059* ($PIC = 0,0905$), продемонстрировавших глубокий дефицит полиморфизма, маркер SSR85 характеризуется умеренно высоким уровнем селективной информативности ($PIC = 0,4901$); ($H_e = 0,5250$). Наличие

четырёх аллельных вариантов и высокая теоретическая гетерозиготность делают данный локус ценным полиморфным якорем для генетического картирования исследуемых инбредных линий кукурузы, несмотря на зафиксированные аномалии менделевского расщепления в поколении F_2 . Дифференциация инбредных линий по уровню аллельного разнообразия на основе данных скрининга 20 инбредных линий кукурузы выявил полярный характер полиморфизма изученных микросателлитных локусов. Локусы umc2013 и umc2059 продемонстрировали глубокий дефицит разнообразия с выраженным преобладанием одного мажорного аллеля (90% и 95% встречаемости соответственно). Напротив, маркер SSR85 показал высокий уровень вариабельности, дифференцировав исследуемую коллекцию на четыре дискретных аллельных класса. Маркеры umc2059 (PIC = 0,0905) и umc2013 (PIC = 0,1769) признаны слабоинформативными (PIC < 0,25). Локус SSR85 охарактеризован как умеренно информативный со значением PIC = 0,4901, что делает его пригодным для паспортизации и генотипирования исходных родительских форм. Оценка применимости маркеров для MAS в популяции F_2 , по результатам изучения расщепляющегося поколения ($n = 16$) показало полную непригодность локусов umc2013 и umc2059 для маркер-ориентированной селекции (MAS). Данные маркеры оказались мономорфными внутри анализируемой кросс-популяции, зафиксировав лишь одно родительское состояние у всех проростков. Наблюдаемое соотношение генотипов в популяции F_2 (1:2:13) статистически достоверно отклоняется от теоретической пропорции. Сильный селективный сдвиг в сторону гомозигот по отрицательному аллелю свидетельствует о наличии гаметического отбора или жестком сцеплении локуса с локусами сублетальности, снижающими жизнеспособность альтернативных зигот (таблица 1).

Таблица 1

Распространенность маркеров устойчивости к фузариозу початка (SSR85, umc2059, umc2013) в выборке тетраплоидных линий белой зерной тетраплоидной кукурузы

№	Наименование	Маркеры устойчивости к фузариозу початка		
		SSR85	UMC2059	UMC2013
1	МБК	—	+	+
2	КБЗ	—	±	—
3	ТШ	±	+	—
4	С-430	+	+	—
5	БЗПП-9	—	+	—
6	БЗПП-11	—	+	—
7	БЗПП-14	—	+	—
8	БЗПП-21	—	+	—
9	БЗПП-24	±	+	—
10	БЗПП-31	—	+	—
11	БЗПП-36	—	+	—
12	БЗПП-38	—	+	—
13	БЗПП-42	±	+	—
14	БЗПП-44	—	+	—
15	БЗПП-48	+	+	—

Для проведения комплексного генетико-статистического анализа взаимосвязи между молекулярно-генетическими маркерами и устойчивостью кукурузы к фитопатогенам была выполнена оцифровка качественных признаков и рассчитан коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ).

Таблица 2

Ранжирование стандартных сортов и тетраплоидных гибридов белозерной кукурузы по устойчивости к фузариозной гнили початка на естественном фоне в степной и предгорной зонах Кабардино-Балкарии, 2024/2025 гг.

№	Наименование	Степная зона, %	Ранг	Предгорная зона, %	Ранг	Разность рангов (d)	Квадрат разности (d ²)
1	МБК	0	5,5	0,03	6	–0,5	0,25
2	КБЗ	0	5,5	0,05	11	–5,5	30,25
3	ТШ	0,2	13	0,7	14	–1	1
4	С-430	0,6	15	0,83	15	0	0
5	БЗПП-9×ТШ	0	5,5	0,03	6	–0,5	0,25
6	БЗПП-11×ТШ	0	5,5	0,01	1	4,5	20,25
7	БЗПП-14×ТШ	0	5,5	0,04	9	–3,5	12,25
8	БЗПП-21×ТШ	0	5,5	0,03	6	–0,5	0,25
9	БЗПП-24×ТШ	0	5,5	0,02	2,5	3	9
10	БЗПП-31×ТШ	0,1	11	0,03	6	5	25
11	БЗПП-36×ТШ	0	5,5	0,02	2,5	3	9
12	БЗПП-38×ТШ	0	5,5	0,05	11	–5,5	30,25
13	БЗПП-42×ТШ	0,2	13	0,07	13	0	0
14	БЗПП-44×ТШ	0,2	13	0,05	11	2	4
15	БЗПП-48×ТШ	0	5,5	0,03	6	–0,5	0,25
Сумма							$\sum d^2 = 142,5$

Примечание: Расчет скорректирован статистической программой с учетом формулы для связанных рангов, чтобы исключить погрешность из-за одинаковых значений.

Поскольку маркеры (микросателлитные локусы SSR) представлены в качественной форме («+» – наличие аллеля устойчивости, «±» – гетерозиготное/нестабильное состояние или промежуточный аллель, пусто – отсутствие аллеля), для расчета корреляции с ранее определенными фенотипическими параметрами засухоустойчивости и структуры урожая им были присвоены следующие ранговые баллы: «+» = 2 балла; «±» = 1 балл; «пусто» = 0 баллов (таблица 2). Статистический анализ ранжирования стандартных сортов и тетраплоидных гибридов белозерной кукурузы по устойчивости к фузариозной гнили початка на естественном фоне в степной и предгорной зонах позволил установить силу и направление связи, которая при значении $p = ,702$ свидетельствует о сильной прямой зависимости. Это означает, что генотипы кукурузы, демонстрирующие относительно более высокую устойчивость в степной зоне, сохраняют свою позицию лидеров и в предгорной зоне. Соответственно, наиболее восприимчивые образцы (такие как С-430 и ТШ) стабильно хуже других переносят инфекцию в обеих экологических средах.

Статистическая значимость (p-value) подтверждает значение уровня значимости $p = 0,0035$. Так как $p < 0,01$, то корреляция является высокосignификантной. Вероятность того, что такая связь между зонами случайна, составляет менее 0,4%. Результаты исследований подтверждают, что генетическая устойчивость данных тетраплоидных линий стабильна и слабо зависит от изменения эколого-географических условий. Первичный отбор лучших образцов на устойчивость к фузариозу можно успешно проводить в любой из этих зон – результаты ранжирования гибридов будут в высокой степени совпадать [5].

Суммарный молекулярно-генетический балл устойчивости по трем микросателлитным локусам (SSR85, umc2059, umc2013), ассоциированным в генетике кукурузы с QTL (локусами количественных признаков) устойчивости к *Fusarium spp.*, распределился следующим образом:

1. Высокий генетический потенциал устойчивости (4–6 баллов): Линии БЗПП-48 (6 баллов – несет все три аллеля), МБК, С-430, БЗПП-24 (по 4 балла).
2. Средний потенциал (2 балла): Линии ТШ, БЗПП-9, БЗПП-11, БЗПП-14, БЗПП-21, БЗПП-31, БЗПП-36, БЗПП-38, БЗПП-42, БЗПП-44. Они имеют в генотипе только по одному целевому локусу (преимущественно SSR85 или umc2059).
3. Низкий потенциал (1 балл): Линия КБЗ (промежуточное состояние локуса SSR85).

Сопряженность суммарного балла ПЦР-маркеров фузариоустойчивости с Индексом засухоустойчивости (ИЗ, %) составила $p = +0,59$, что позволило установить статистически достоверную на 95%-м уровне значимости ($t_{\text{факт}} = 2,52 > t_{\text{крит}} = 2,18$) заметную (умеренную) прямую связь между засухоустойчивостью и наличием генов устойчивости к фузариозу. Это обусловлено тем, что фузариоз початка активнее всего развивается на фоне засухи и физиологического угнетения растений. Генотипы, несущие маркеры SSR85 и umc2059 (например, БЗПП-24 и БЗПП-48), одновременно проявляют высокий индекс засухоустойчивости (87,9–76,9%), что указывает на возможный плеiotропный эффект данных генов или тесное сцепление локусов устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам. На влагообеспеченном фоне (Предгорная зона) эта восприимчивость ослабленных засухой генотипов смазывается.

Наибольшую селекционную ценность как комплексный донор иммунитета представляет линия БЗПП-48, скомбинировавшая в своем генотипе все три целевых аллеля устойчивости. Высоким удельным весом генов устойчивости также характеризуются формы МБК, С-430 и БЗПП-24 [6].

Для установления сопряженности между молекулярными маркерами и фенотипическим проявлением признаков был выполнен непараметрический корреляционный анализ по Спирмену. Проведенными расчетами выявлена заметная и статистически достоверная прямая корреляция между суммарным баллом генов фузариоустойчивости и индексом засухоустойчивости линий $p = +0,59$ при $p \leq 0,05$. Данный факт указывает на общую генетико-физиологическую основу устойчивости к засухе и поражению патогенами рода *Fusarium*. Генотипы, сочетающие обе системы защиты (БЗПП-24 и БЗПП-48, обладают повышенным гомеостазом, что позволяет рекомендовать их в качестве приоритетных родительских компонентов для создания коммерческих гибридов кукурузы, адаптированных к жестким условиям гидротермического стресса Степной зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yuqing Su, Ningning Yue, Wei Sang, Yufang Bai, Jingjing He, Yixin Wang, Jiatian Yang, Wei Pan, Xiangru Xu, Jinlong Li, Yutian Gao, Jingjing Jin, Shuonan Duan, Qixin Sun, Chaojie Xie, Jun Ma. Identification of two major QTL associated with Fusarium crown rot resistance in wheat // The Crop Journal. 2026. Vol. 14. Iss. 3. – P. 905–914. ISSN 2214-5141. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2026.02.006>.
2. Rector B.G., All J.N., Parrott W.A., Boerma H.R. Identification of molecular markers linked to quantitative trait loci for soybean resistance to corn earworm TAG // Theoretical and Applied

genetics. Theoretische und Angewandte Genetik. 1998 May; 96 (6): 786–790. DOI: 10.1007/s001220050803.

3. *Жученко А.А.* Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбинаогенез, агробиоценоз) / А.А. Жученко. – Кишинев: Штиинца, 1980. – 587 с.
4. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms / D. Botstein, R.L. White, M. Skolnick, R.W. Davis // American Journal of Human Genetics. 1980. Vol. 32. No. 3. – P. 314–331.
5. *Кегадуев И.А., Паритов А.Ю.* и др. Комплексная оценка хозяйственной ценности тетраплоидной белозерной пищевой кукурузы (*Zea Mays L.*) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2026. Т. 187. № 1. – С. 62–73.
6. *Кегадуев И.А., Паритов А.Ю.* и др. Маркерный анализ хозяйственно-ценных признаков линий и гибридов кукурузы на основе изучения его генома // Естественные и технические науки. 2025. № 3 (202). – С. 62–65.

Микробиология

Волков В.В.

Сивкова Д.С., ассистент

Николенко М.В., доктор биологических наук, профессор

(Тюменский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.06

МЕХАНИЗМЫ ГЕМОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ CANDIDA ALBICANS: ОТ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ФАКТОРОВ К СТРАТЕГИИ ВЫЖИВАНИЯ

*В настоящей работе обобщены современные данные о механизмах гемолитической активности *C. albicans*. Установлено, что ключевым гемолитическим фактором является кандидализин. Параллельно описан альтернативный механизм гемолиза, обусловленный высокомолекулярными маннопротеинами клеточной стенки. Показано, что гемолитическая активность функционально связана с обеспечением гриба железом: высвобождающийся гемоглобин восстанавливает рост *C. albicans*, подавленный трансферрином, и одновременно служит сигнальной молекулой, индуцирующей гифальную дифференцировку. Полученные данные раскрывают интеграцию гемолитической активности в общую стратегию выживания *C. albicans* в условиях железодефицита, характерного для внутренней среды хозяина и обнажают потенциальные мишени для разработки новых терапевтических подходов.*

Ключевые слова: *Candida albicans*, кандидализин, гемолитическая активность, метаболизм железа, факторы вирулентности.

Volkov V.V.

Sivkova D.S.

Nikolenko M.V.

MECHANISMS OF HEMOLYTIC ACTIVITY OF CANDIDA ALBICANS: FROM MOLECULAR FACTORS TO SURVIVAL STRATEGIES

*This paper summarizes current data on the mechanisms of hemolytic activity of *C. albicans*. It has been established that the key hemolytic factor is candidalysin. In parallel, an alternative mechanism of hemolysis is described, which is caused by high-molecular-weight mannoproteins of the cell wall. It has been shown that hemolytic activity is functionally linked to providing the fungus with iron: the released hemoglobin restores the growth of *C. albicans* suppressed by transferrin and simultaneously serves as a signaling molecule inducing hyphal differentiation. The data obtained reveal the integration of hemolytic activity into the overall survival strategy of *C. albicans* under conditions of iron deficiency typical of the host's internal environment and highlight potential targets for the development of new therapeutic approaches.*

Keywords: *Candida albicans*, candidalysin, hemolytic activity, iron metabolism, virulence factors.

Введение

Candida albicans (*C. albicans*) – условно-патогенный гриб, способный вызывать как поверхностные, так и системные микозы при снижении функций иммунной системы, приеме некоторых препаратов [1]. Патогенный потенциал *C. albicans* обеспечивается комплексом факторов вирулентности, включающих адгезию к клеткам хозяина, морфологическое переключение между

дрожжевой и гифальной формами, секрецию ферментов, а также формирование биоплёнок [2]. Среди этих факторов особое место занимает гемолитическая активность – способность гриба разрушать эритроциты с высвобождением гемоглобина.

Долгое время молекулярная природа гемолитического фактора *C. albicans* оставалась неясной. Недавние исследования показали, что ключевым гемолитическим агентом является кандидализин – пептидный токсин, секретируемый гифами и кодируемый геном ECE1. Гемолитическая активность неразрывно связана с морфогенезом, поскольку образование гиф сопровождается секрецией кандидализина, экспрессией специфических адгезинов и перестройкой клеточной стенки. Сам гемоглобин, высвобождающийся при гемолизе, дополнительно индуцирует гифальную дифференцировку [3]. Систематизация этих данных необходима для целостного понимания патогенеза кандидоза и выявления потенциальных мишеней противогрибковой терапии.

Цель данной работы – раскрыть механизмы гемолитической активности *C. albicans*, оценить значение гемолиза как фактора вирулентности в общей стратегии выживания гриба в организме хозяина.

Результаты и обсуждения

Долгое время оставалось неясным, какой именно молекулярный механизм обеспечивает гемолитическую активность *C. albicans* несмотря на то, что сам феномен гемолиза был известен десятилетиями [4]. Лишь в недавних исследованиях удалось идентифицировать кандидализин – секретируемый пептидный токсин из 31 аминокислоты, ассоциированный с гифальной формой гриба, – в качестве ключевого гемолитического фактора [5]. Кандидализин кодируется геном ECE1, продукт которого представляет собой полипротеин Ece1p, состоящий из 271 аминокислоты и включающий восемь различных пептидов, образующихся в результате последовательной активности сериновых протеаз Kex2 и Kex16 [6]. Таким образом, он является не только первым пептидным токсином, обнаруженным у патогенных для человека грибов, но и центральным гемолитическим фактором *C. albicans*, необходимым для лизиса эритроцитов [4, 7]. Механизм образования этого токсина тесно связан с инвазивным потенциалом гриба, поскольку кандидализин секретируется гифами и играет ключевую роль в развитии как слизистых, так и системных инфекций [4, 5, 8].

Параллельно с исследованиями кандидализина в литературе описывается иной механизм гемолитической активности *C. albicans*, связанный с высокомолекулярными маннопротеинами, секретируемыми грибом [9]. Для идентификации природы его углеводной части использовали 1H-ЯМР-спектроскопию, которая показала, что исследуемое вещество представляет собой маннан клеточной стенки *C. albicans*. Более того, очищенный маннан сам по себе (в отсутствие белковой части) способствовал разрушению эритроцитов, что указывает на самостоятельную гемолитическую активность этого полисахарида [9, 10].

Гемолиз, вызываемый *C. albicans*, наблюдается при выращивании на кровяном агаре с добавлением глюкозы, причём эта активность присутствует в интактных организмах и при росте на питательной среде [7]. Высвобождающийся из лизированных эритроцитов гемоглобин может восстанавливать рост *C. albicans*, подавленный трансферрином, что указывает на прямую связь между гемолитической активностью и обеспечением гриба железом [11]. Гемоглобин, на долю которого приходится до 70% потенциально доступного железа в организме хозяина, используется *C. albicans* не только как источник железа, но и как сигнальная молекула, индуцирующая образование гиф через экспрессию генов HWP1 и ECE1 [8, 12]. При этом свободный гем или глобин не могут воспроизвести этот эффект, что указывает на участие специфического рецептора в сигнальном пути [8].

Физиологический смысл продукции гемолизина у *C. albicans* неразрывно связан с необходимостью получения железа – критически важного микроэлемента, который в организме

хозяина находится в труднодоступной форме [12–14]. *C. albicans*, как условно-патогенный грибок, для роста нуждается в железе, однако человеческая сыворотка подавляет его рост из-за наличия высокоаффинных железосвязывающих белков (трансферрина, лактоферрина, ферритина), которые связывают железо, делая его недоступным для микроорганизмов [7, 13]. В ингибирующей среде человеческой сыворотки рост *C. albicans* можно восстановить, добавив экзогенный гемоглобин или гем, но не протопорфирин IX – предшественник гема, не содержащий железа [13, 15]. Это доказывает, что именно железо, а не порфириновая часть молекулы, является ключевым фактором, поддерживающим пролиферацию гриба.

Помимо прямого использования гемоглобина, *C. albicans* способна усваивать железо из эритроцитов через комплемент-опосредованные механизмы. *C. albicans* использует белки клеточной поверхности, гомологичные рецепторам комплемента млекопитающих (CR), для образования розеток с эритроцитами, покрытыми комплементом. Способность гриба усваивать железо из эритроцитов зависит от розеттинга *Candida*-эритроцитов, опосредуемого CR-подобными молекулами [15].

Кроме того, *C. albicans* может использовать ферритин хозяина в качестве источника железа. Концентрация ферритина в клетках эпителия напрямую связана с их восприимчивостью к поражению патогеном [16]. Гифы *C. albicans*, связываются с ферритином, и это связывание имеет решающее значение для поглощения железа из ферритина. Для связывания с ферритином необходим инвазиноподобный белок Als3, ассоциированный с гифами [6]. Гемолитическая активность *C. albicans* не проявляется в равной степени на всех стадиях жизненного цикла гриба, а жестко сопряжена с его способностью к морфологическому переключению между дрожжевой и гифальной формами [4, 8, 17].

Чтобы выжить в кровотоке, *C. albicans* использует как минимум три системы извлечения железа из организма хозяина: секретируемые гемолизины, систему утилизации гемоглобина Rbt5 и высокоаффинную редуктивную систему [18, 19]. Гемолизины, таким образом, обеспечивают первый этап – высвобождение гемоглобина из эритроцитов, после чего специализированные системы поглощения транспортируют гем через клеточную стенку. Следовательно, гемолитическая активность *C. albicans* является не просто побочным феноменом, а ключевым компонентом стратегии выживания гриба в условиях железодефицита, характерных для организма хозяина, и напрямую способствует развитию инфекционного процесса [13, 14, 18].

Выводы

Проведенный анализ показывает, что гемолитическая активность *C. albicans* представляет собой многокомпонентный, строго регулируемый процесс, интегрированный в систему обеспечения гриба железом и сопряженный также с морфогенетическим переключением между дрожжевой и гифальной формами *C. albicans* использует комплекс гемолитических механизмов – как пептидную природу (кандидализин), так и маннопротеиновую (маннан клеточной стенки) – для разрушения эритроцитов и последующего получения железа, критически важного для выживания и адаптации гриба в организме хозяина. Углубленное понимание механизмов гемолиза открывает потенциальные мишени для разработки новых таргетных терапевтических подходов, направленных на нарушение железо-метаболических путей патогена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивкова Д.С., Николенко М.В., Чепис М.В. Закономерности встречаемости кандидозов в период пандемии COVID-19 на модели женского репродуктивного тракта // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 10. – С. 46–49. – DOI 10.37882/2223–2966.2024.10.38.

2. *Николенко, М.В., Сивкова Д.С., Чепис М.В.* Биологические закономерности временной организации патогенных свойств *Candida albicans* // Проблемы медицинской микологии. 2025. Т. 27, № 2. – С. 212.
 3. *Birse C.E., Irwin M.Y., Fonzi W.A., Sypherd P.S.* Cloning and characterization of ECE1, a gene expressed in association with cell elongation of the dimorphic pathogen *Candida albicans*. *Infect Immun.* 1993 Sep; 61 (9): 3648–55. doi: 10.1128/iai.61.9.3648-3655.1993. PMID: 8359888; PMCID: PMC281060.
 4. *Mogavero S., Höfs S., Lauer A.N., Müller R., Brunke S., Allert S., Gerwien F., Groth S., Dolk E., Wilson D., Gutschmann T., Hube B.* Candidalysin Is the Hemolytic Factor of *Candida albicans*. *Toxins (Basel).* 2022 Dec 15; 14 (12): 874. doi: 10.3390/toxins14120874. PMID: 36548771; PMCID: PMC9785678.
 5. *Richardson J.P., Mogavero S., Moyes D.L., Blagojevic M., Krüger T., Verma A.H., Coleman B.M., De La Cruz Diaz J., Schulz D., Ponde N.O., Carrano G., Kniemeyer O., Wilson D., Bader O., Enoiu S.I., Ho J., Kichik N., Gaffen S.L., Hube B., Naglik J.R.* Processing of *Candida albicans* Ecelp Is Critical for Candidalysin Maturation and Fungal Virulence. *mBio.* 2018 Jan 23; 9 (1): e02178–17. doi: 10.1128/mBio.02178-17. PMID: 29362237; PMCID: PMC5784256.
 6. *Sanders S.L., Schekman R.* Polypeptide translocation across the endoplasmic reticulum membrane. *J Biol Chem.* 1992 Jul 15; 267 (20): 13791–4. PMID: 1321124.
 7. *Manns J.M., Mosser D.M., Buckley H.R.* Production of a hemolytic factor by *Candida albicans*. *Infect Immun.* 1994 Nov; 62 (11): 5154–6. doi: 10.1128/iai.62.11.5154-5156.1994. PMID: 7927798; PMCID: PMC303238.
 8. *Pendrak M.L., Roberts D.D.* Hemoglobin is an effective inducer of hyphal differentiation in *Candida albicans*. *Med Mycol.* 2007 Feb; 45 (1): 61–71. doi: 10.1080/13693780601028691. PMID: 17325946.
 9. *Watanabe T., Takano M., Murakami M., Tanaka H., Matsuhisa A., Nakao N., Mikami T., Suzuki M., Matsumoto T.* Characterization of a haemolytic factor from *Candida albicans*. *Microbiology (Reading).* 1999 Mar; 145 (Pt 3): 689–694. doi: 10.1099/13500872-145-3-689. PMID: 10217503.
 10. *Luo G., Samaranayake L.P., Yau J.Y.* *Candida* species exhibit differential in vitro hemolytic activities. *J Clin Microbiol.* 2001 Aug; 39 (8): 2971–4. doi: 10.1128/JCM.39.8.2971-2974.2001. PMID: 11474025; PMCID: PMC88272.
 11. *Esterly N.B., Brammer S.R., Crounse R.G.* The relationship of transferrin and iron to serum inhibition of *Candida albicans*. *J Invest Dermatol.* 1967 Nov; 49 (5): 437–42. PMID: 6065114.
 12. *Fourie R., Kuloyo O.O., Mochochoko B.M., Albertyn J., Pohl C.H.* Iron at the Centre of *Candida albicans* Interactions. *Front Cell Infect Microbiol.* 2018 Jun 5; 8: 185. doi: 10.3389/fcimb.2018.00185. PMID: 29922600; PMCID: PMC5996042.
 13. *Moors M.A., Stull T.L., Blank K.J., Buckley H.R., Mosser D.M.* A role for complement receptor-like molecules in iron acquisition by *Candida albicans*. *J Exp Med.* 1992 Jun 1; 175 (6):1643–51. doi: 10.1084/jem.175.6.1643. PMID: 1588285; PMCID: PMC2119266.
 14. *Almeida R.S., Brunke S., Albrecht A., Thewes S., Laue M., Edwards J.E., Filler S.G., Hube B.* The hyphal-associated adhesin and invasin Als3 of *Candida albicans* mediates iron acquisition from host ferritin. *PLoS Pathog.* 2008 Nov; 4 (11): e1000217. doi: 10.1371/journal.ppat.1000217. Epub 2008 Nov 21. PMID: 19023418; PMCID: PMC2581891.
 15. *Edwards J.E. Jr., Gaither T.A., O'Shea J.J., Rotrosen D., Lawley T.J., Wright S.A., Frank M.M., Green I.* Expression of specific binding sites on *Candida* with functional and antigenic characteristics of human complement receptors. *J Immunol.* 1986 Dec 1; 137 (11): 3577–83. PMID: 2946764.
 16. *Arosio P., Levi S.* Ferritin, iron homeostasis, and oxidative damage. *Free Radic Biol Med.* 2002 Aug 15; 33 (4): 457–63. doi: 10.1016/s0891-5849(02)00842-0. PMID: 12160928.
-

17. *Chow E.W.L., Pang L.M., Wang Y.* From Jekyll to Hyde: The Yeast-Hyphal Transition of *Candida albicans*. *Pathogens*. 2021 Jul 7; 10 (7): 859. doi: 10.3390/pathogens10070859. PMID: 34358008; PMCID: PMC8308684.
18. *Fourie R., Kuloyo O.O., Mochochoko B.M., Albertyn J., Pohl C.H.* Iron at the Centre of *Candida albicans* Interactions. *Front Cell Infect Microbiol*. 2018 Jun 5; 8: 185. doi: 10.3389/fcimb.2018.00185. PMID: 29922600; PMCID: PMC5996042.
19. *Chen C., Pande K., French S.D., Tuch B.B., Noble S.M.* An iron homeostasis regulatory circuit with reciprocal roles in *Candida albicans* commensalism and pathogenesis. *Cell Host Microbe*. 2011 Aug 18; 10 (2): 118–35. doi: 10.1016/j.chom.2011.07.005. PMID: 21843869; PMCID: PMC3165008.

Экология

*Машанова Ю.О., аспирант
(Бурятская государственная сельскохозяй-
ственная академия имени В.Р. Филиппова)*

АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ АТМОСФЕРУ ВЕЩЕСТВ ОТ СВАРОЧНЫХ АППАРАТОВ

Сварочные работы осуществляются почти на каждом предприятии, данный процесс является необходимым во многих сферах деятельности, но тем не менее данный процесс несет негативное воздействие на окружающую среду, в части выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, также после оседания веществ происходит их накопление в почве, водных ресурсах и организме человека. Одним из методов уменьшения негативного воздействия на окружающую среду является подбор «исходного сырья» для сварки, а именно сварочных электродов, поскольку разные марки электродов имеют различный химический состав, а соответственно и выбросы загрязняющих веществ при работе с ними.

Ключевые слова: *окружающая среда, загрязняющие вещества, выбросы, сварка.*

Mashanova Yu.O.

ANALYSIS OF AIR POLLUTANT EMISSIONS FROM WELDING MACHINES

Welding work is carried out at almost every enterprise, this process is necessary in many fields of activity, but nevertheless this process has a negative impact on the environment, in terms of emissions of pollutants into the air; and after the substances settle, they accumulate in the soil, water resources and the human body. One of the methods for reducing the negative impact on the environment is the selection of “raw materials” for welding, namely welding electrodes, since different brands of electrodes have different chemical compositions, and, accordingly, emissions of pollutants when working with them.

Keywords: *environment, pollutants, emissions, welding.*

Введение

Актуальность данной темы заключается в том, что сварочные работы являются неотъемлемой составляющей во многих ремонтных и строительных работах, в связи с увеличением объема сварных работ увеличивается и негативное воздействие на окружающую среду

Согласно маркетинговому исследованию рынка сварочных электродов, проведенному ТК Solutions [1], а также анализу импорта и экспорта сварочных электродов России, подготовленного Alto consulting group [2] в 2022 году российскими предприятиями было выпущено 102 862 т электродов с покрытием, что на 14,3% выше по сравнению с результатами 2021 года, при этом в 2021 году в Сибирском Федеральном округе было произведено 2443,0 тонн электродов. Лидирующий федеральный округ РФ по производству электродов с покрытием – Уральский ФО (30,2% производства за период с 2017 по 2022), на втором месте – Центральный ФО (29,7% производства). Производство электродов с покрытием в августе 2023 года выросло на 35,7% к уровню августа прошлого года и составило 10 563,6 т. предполагаемое увеличение массы выпускаемой продукции, при условии аналогичного увеличения производства к концу года составит 139 584 тонн выпускаемой продукции.

В настоящей статье применяются термины согласно ГОСТ Р 58904–2020/ISO/TR 25901–1:2016 «Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Общие термины» [3].

Сварку широко применяют в основных отраслях производства, потребляющих металлопрокат, так как благодаря сварке резко сокращается расход металла, сроки выполнения работ и трудоемкость производственных процессов. В настоящее время сварку выполняют даже под водой и в космосе.

Выпуск сварочных конструкций и уровень механизации сварочных работ растут из года в год. Получаемая за счет применения сварки ежегодная экономия исчисляется многими сотнями миллионов рублей [4, с. 4].

Для получения сварного соединения недостаточно простого соприкосновения поверхностей соединяемых деталей. Межатомные связи могут установиться только тогда, когда соединяемые атомы получают некоторую дополнительную энергию, необходимую для преодоления существующего между ними определенного энергетического барьера. При этом атомы достигают состояния равновесия в действии сил напряжения и отталкивания. Эту энергию называют энергией активации. При сварке ее вводят извне путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация) [5, с. 10].

Условия и методы:

При определении выделений (выбросов) в сварочных процессах используются расчетные методы с применением удельных показателей выделения загрязняющих веществ (на единицу массы расходуемых сварочных материалов; на длину реза; на единицу оборудования; на единицу массы расходуемых наплавочных материалов).

При выполнении сварочных работ атмосферный воздух загрязняется сварочным аэрозолем, в составе которого в зависимости от вида сварки, марок электродов и флюса находятся вредные для здоровья оксиды металлов, а также газообразные соединения.

Расчет выделений загрязняющих веществ выполнен в соответствии с «Методикой расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (на основе удельных показателей). СПб, 1997» (с учетом дополнений НИИ Атмосфера 2005 г.) [6, с. 87].

Для проведения анализа выбросов загрязняющих атмосферу веществ от сварочных аппаратов были осуществлены расчеты выбросов от Ручной дуговой сварки сталей штучными сварочными электродами марки:

УОНИ-13/55, которые предназначены для сварки конструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей, работающих при знакопеременных нагрузках и отрицательных температурах до -50°C ;

МР-3, которые предназначены для конструкций преимущественно из низкоуглеродистых (с содержанием С до 0,25%) и низколегированных сталей. Временное сопротивление таких сталей разрыву не превышает 50 кгс/мм^2 , то есть, предел прочности составляет 490 МПа, ими варят – трубопроводы и трубная арматура, котлы и цистерны, практически весь спектр подъемно-транспортного оборудования;

МР-4, которые предназначены для сварки конструкций из углеродистых или низколегированных сталей. Данная марка электродов позволяет работать даже с влажными, ржавыми, плохо очищенными и окислившимися поверхностями;

ЭА 395/9, которые предназначены для сварки конструкций из высокопрочных среднелегированных сталей, разнородных сталей. Рекомендуются для сварки листовых металлоконструкций, работающих при знакопеременных нагрузках и низких температурах;

АНО-4, которые предназначены для сварки конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей, с временным сопротивлением разрыву до 490 МПа;

ОЗЛ-6, которые предназначены для сварки конструкций из жаростойких сталей марок 10Х23Н18, 20Х23Н13, 20Х23Н18 и др., работающих при температуре до 1000°C , в средах, не содержащих сернистые соединения.

Стоит отметить, что различные марки электродов используются для работы с определенными видами стали и имеют свои отличительные характеристики и специфику работы.

Условия работы для каждый сварочных электродов были выбраны одинаковые, а именно:

Расход сварочных материалов за год: 100 кг

Расход сварочных материалов за период интенсивной работы: 1 кг

Время интенсивной работы: 1 ч 00 мин

Норматив образования огарков: 15%

Удельные показатели выделения загрязняющих веществ при сварке и наплавке металла утверждены ГОСТ Р 56164–2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей [7, таблица 1].

Результаты и обсуждение:

В результате анализа, и расчетов, согласно вышеуказанной методике, были определены вещества, выбрасываемые в атмосферу, а также их масса:

При работе со сварочными электродами марки УОНИ 13/55:

Таблица 1

Загрязняющее вещество		Класс опасности	Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование			
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид)	3	0,0032819	0,0011815
143	Марганец и его соединения	2	0,0002574	0,0000927
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	3	0,00051	0,0001836
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	3	0,0000829	0,0000298
337	Углерод оксид	4	0,0031403	0,0011305
342	Фтористые газообразные соединения	2	0,0002196	0,0000791
344	Фториды неорганические плохо растворимые	2	0,0002361	0,000085
2908	Пыль неорганическая, содержащая 70–20% SiO ₂	3	0,0002361	0,000085
	итого		0,0079643	0,0028672

При работе со сварочными электродами марки МР-3:

Таблица 2

Загрязняющее вещество		Класс опасности	Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование			
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид)	3	0,0023068	0,0008305
143	Марганец и его соединения	2	0,0004085	0,0001471
342	Фтористые газообразные соединения	2	0,0000944	0,000034
	итого		0,0028097	0,0010116

При работе со сварочными электродами марки МР-4:

Таблица 3

Загрязняющее вещество		Класс опасности	Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование			
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид)	3	0,0023375	0,0008415
143	Марганец и его соединения	2	0,0002597	0,0000935
342	Фтористые газообразные соединения	2	0,0000944	0,000034
	итого		0,0026916	0,000969

При работе со сварочными электродами марки ЭА 395/9:

Таблица 4

Загрязняющее вещество		Класс опасности	Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование			
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид)	3	0,0040092	0,0014433
143	Марганец и его соединения	2	0,0002833	0,000102
203	Хром шестивалентный (в пересчете на хрома (VI) оксид)	1	0,0000756	0,0000272
	итого		0,0043681	0,0015725

При работе со сварочными электродами марки АНО-4:

Таблица 5

Загрязняющее вещество		Класс опасности	Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование			
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид)	3	0,003714	0,0013371
143	Марганец и его соединения	2	0,0003919	0,0001411
2908	Пыль неорганическая, содержащая 70–20% SiO ₂	3	0,0000968	0,0000349
	итого		0,0042027	0,0015131

При работе со сварочными электродами марки ОЗЛ-6:

Таблица 6

Загрязняющее вещество		Класс опасности	Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование			
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид)	3	0,0031025	0,0011169
143	Марганец и его соединения	2	0,0002031	0,0000731
342	Фтористые газообразные соединения	2	0,0003613	0,0001301
	итого		0,0036669	0,0013201

Класс опасности загрязняющих атмосферу веществ был определен согласно таблице 1.1. СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды включены: Марганец и его соединения, Фтористые газообразные соединения, Фториды неорганические плохо растворимые, Хром шестивалентный, таким образом, в отношении данных веществ необходимо рассчитать нормативы допустимых выбросов.

Выводы и заключения:

Данная работа направлена на изучение выбросов загрязняющих атмосферу веществ от сварочных аппаратов, сравнение выбросов загрязняющих атмосферу веществ в зависимости от типа используемых сварочных электродов.

В ходе изучения данного вопроса был составлен вывод о том, что при одинаковых исходных данных выбор сварочных электродов напрямую влияет на выбросы загрязняющих атмосферу веществ при работе сварочного аппарата.

В ходе произведенных расчетов было выявлено, что:

1. Наибольшее количество веществ образуется при работе со сварочными электродами марки УОНИ 13/55, поскольку при работе с данной маркой образуется 8 видов загрязняющих атмосферу веществ, а именно: диЖелезо триоксид (Железа оксид), Марганец и его соединения, Азота диоксид (Азот (IV) оксид), Азот (II) оксид (Азота оксид), Углерод оксид, Фтористые газообразные соединения, Фториды неорганические плохо растворимые, Пыль неорганическая, содержащая 70–20% SiO_2 ;

2. Наибольшая годовая и максимально разовая масса выбросов загрязняющих атмосферу веществ образуется при использовании электродов марки УОНИ 13/55, а именно 0,0079643 г/с или же 0,0028672 т/год;

3. Наиболее опасное загрязняющее атмосферу вещество выделяется при использовании электродов марки ЭА 395/9, а именно вещество 1 класса опасности: Хром шестивалентный (в пересчете на хрома (VI) оксид);

4. Наименьшая годовая и максимально разовая масса выбросов, загрязняющих атмосферу, образуется при использовании электродов марки МР-4, а именно 0,0026916 г/с или же 0,000969 т/год – почти в 3 раза меньше массы выбросов от использования электродов марки УОНИ 13/55.

5. При сварочных работах, указанными в настоящей статье сварочными электродами, во всех случаях выделяются диЖелезо триоксид (Железа оксид), а также Марганец и его соединения, при этом:

– Наименьшая масса оксида железа выделяется при работе с электродами марки МР-3 имеющей максимально разовый выброс 0,0023068 г/с и годовой выброс 0,0008305 т/год, а наибольшая масса оксида железа выделяется при работе с электродами марки ЭА 395/9, а имеющей максимально разовый выброс 0,0040092 г/с и годовой выброс 0,0014433 т/год, что 1,7 раза больше, чем у МР-3.

– Наименьшая масса марганца и его соединений выделяется при работе с электродами марки ОЗЛ-6 имеющей максимально разовый выброс 0,0002031 г/с и годовой выброс 0,0000731 т/год, а наибольшая масса марганца и его соединений выделяется при работе с электродами марки МР-3 имеющей максимально разовый выброс 0,0004085 г/с и годовой выброс 0,0001471 т/год.

6. Наименее опасными являются выбросы загрязняющих веществ при работе с электродами марки МР-4, поскольку имеют самую низкую массу образования всех выбрасываемых

веществ, а также при работе с данным видом электродов выделяется наименьшая масса веществ 2 класса опасности.

Поскольку, каждый из указанных сварочных электродов имеет свою специфику использования, определение и рекомендация наименее «экологически опасных» электродов не совсем корректна, но на основании данных расчетов и выводов можно определить оптимальный вид электродов, который будет подходить по своей специфике использования и будет содержать наименьшую массу выбросов из возможных вариантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркетинговое исследование рынка сварочных электродов в России 2017–2023 гг. Цифры, тенденции, прогноз / TK Solutions. – М., 2023. – 102 с.
2. Анализ импорта и экспорта сварочных электродов в России / Alto Consulting group. – Пермь, 2022. – 110 с.
3. ГОСТ Р 58904–2020/ISO/TR 25901–1:2016 «Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Общие термины».
4. Технология электросварочных и газосварочных работ: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.В. Овчинников. – 7-е изд. стер. – М., 2016. – 272 с.
5. Введение в основы сварки: учебное пособие / В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов; Юргинский технологический институт. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 317 с.
6. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное) / НИИ Атмосфера. – СПб/, 2005. – 213 с.
7. ГОСТ Р 56164–2014 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей», утвержденный приказом Росстандарта от 14.10.2014 № 1322-ст.
8. СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
9. Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» (с изменениями на 10 мая 2019 года).

Машанова Ю.О., аспирант
(Бурятская государственная сельскохозяй-
ственная академия имени В.Р. Филиппова)

ТЕХНИЧЕСКИЙ И БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАПЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДОБЫЧИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА

Рекультивация нарушенных земель производится с целью восстановления хозяйственной ценности природных комплексов и угодий, нарушенных в результате эксплуатации недр, а также устранения последствий воздействия на окружающую среду. Рекультивации подлежат все земли, нарушенные добычными работами, на которых произошли какие-либо изменения, выраженные в нарушении почвенного покрова, образование новых форм рельефа, изменение гидрогеологического режима территории, а также прилегающих угодий, на которых в результате проведенных работ произошло снижение продуктивности.

Ключевые слова: окружающая среда, нарушенные земли, рекультивация, месторождения, золотодобыча.

Mashanova Yu.O.

TECHNICAL AND BIOLOGICAL STAGES OF RECLAMATION OF DISTURBED LANDS RESULTING FROM PLACER GOLD MINING

Reclamation of disturbed lands is carried out in order to restore the economic value of natural complexes and land disturbed as a result of exploitation of the subsoil, as well as to eliminate the consequences of environmental impact. All land disturbed by mining operations on which any changes expressed in soil disturbance, the formation of new forms of relief, changes in the hydrogeological regime of the territory, as well as adjacent land, on which as a result of the work has been done, have been reduced, are subject to reclamation.

Keywords: environment, disturbed land, recultivation, deposits, gold mining.

Введение

Актуальность данной темы заключается в том, что в связи с увеличением количества месторождений вовлекаемых в разработку- растёт количество затрагиваемых земель, которые становятся непригодными для нужд человека. Для восстановления данных земель необходимо провести ряд мероприятий в сфере рекультивации.

Согласно ГОСТ 17.5.1.01-83 «Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения»

- Рекультивация земель – это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества.

- Рекультивация и консервация земель осуществляются путем проведения технических и (или) биологических мероприятий.

Проектный этап рекультивации включает в себя:

1. Объекты и площади нарушенных земель, подлежащих рекультивации.
2. Вид целевого назначения земель, необходимых для разработки месторождения (в том числе испрашиваемых).
3. Степень и характер их деградации.
4. Природно-климатические условия.
5. Агрохимическая и физико-механическая характеристики вскрышных пород, возможность их использования при рекультивации.
6. Мероприятия по сохранению плодородного и потенциально плодородного слоя почв.

7. Направление рекультивации (в соответствии с ТУ).

8. Состав, последовательность, объёмы и сроки выполнения работ по этапам рекультивации нарушенных земель.

Технический – этап рекультивации, включает подготовку земель для последующего целевого использования в народном хозяйстве (планировка, формирование откосов, снятие, транспортирование и нанесение почв и плодородных пород на рекультивируемые земли) (ГОСТ 17.5.1.01-83).

При проведении технического этапа рекультивации земель в зависимости от направления рекультивируемых земель должны быть выполнены работы, согласно п. 1.9 ГОСТ 17.5.3.04-83.

Биологический – этап рекультивации земель, включающий комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий по восстановлению плодородия нарушенных земель (ГОСТ 17.5.1.01-83).

В соответствии с п. 1.13 ГОСТ 17.5.3.04-83 при проведении биологического этапа рекультивации должны быть учтены требования к рекультивации земель по направлениям их использования.

- Биологический этап должен осуществляться после полного завершения технического этапа.

- Земельные участки в период осуществления биологической рекультивации в сельскохозяйственных и лесохозяйственных целях проходят стадию мелиоративной подготовки.

Условия и методы

Хотелось бы также рассказать о том как проводится рекультивация в жизни, на примере Республики Бурятия.

Действующим природоохранным законодательством предусматривается приведение участка земли, нарушенного при использовании недрами в состояние пригодное для дальнейшего использования. Согласно ГОСТ 17.5.3.04-83 технологическая схема производства горных работ в части рекультивации нарушенных земель на лицензионном участке предусматривает: засыпку части горных выработок в период разведочных и добычных работ, а так выполаживание борта у дна карьера по окончанию добычных работ на лицензионном участке.

Восстанавливаемые нарушенные земли для природоохранных целей должны исключать вредное воздействие рекультивированного участка на окружающую среду, к чему в первую очередь относится устранение и предотвращение образования очагов эрозионных процессов и источников загрязнения водотоков.

В биологическом отношении почвообразующие грунты, слагающие дневную поверхность характеризуются как малопродуктивные. Почвенно-растительный слой на проектируемой к отработке площади отсутствует. Следовательно, выделение и раздельное складирование плодородного или продуктивного для биологической рекультивации слоя не целесообразно.

Земли участка расположены в труднодоступной горной местности, что обуславливает их непригодность для какой-либо деятельности.

Расчистки, траншеи и часть канав, вскрывших полезное ископаемое, засыпаться не будут, что обусловлено необходимостью сохранения добытой геологической информации, для проведения более детальных геологоразведочных работ следующих стадий и последующей эксплуатации жил.

В целях обеспечения техники безопасности предусматривается устройство ограждений на этих горных выработках.

Учитывая расположение земельного участка, качество земель, отсутствие почвенно-растительного слоя, нагорное расположение участка проектом предусматривается техническая рекультивация с частичной засыпкой горных выработок и выполаживание борта у дна карьера по окончанию работ с выполнением мероприятия по регулированию водного режима

в рекультивационном слое. Биологическая рекультивация проектом не предусмотрена в связи с отсутствием почвенно-растительного слоя (ПРС) и наличием малопродуктивных грунтов на площади участка работ.

Результаты и обсуждение

Разработка и согласование проекта происходят согласно нормативным документам.

Технический этап рекультивации заключается в выполаживании бортов горных выработок и отвалов, восстановлению русла естественного водотока, и восстановлению ПРС (при наличии такового), если карьер глубокий- ПРС выстилается на бермах безопасности. Органами, представившими землю в пользование и давшими разрешение на проведение работ, устанавливаются сроки проведения технического этапа рекультивации, связанных с нарушением почвенного покрова, на основе соответствующих проектных материалов и календарных планов.

Для расчета объемов рекультивации применяются геометрические формулы:

Расчет удельного (на 1 п. м) объема перемещаемых пород при сплошном выполаживании отвала сверху вниз производится по формуле:

$$V_B = V1 + V2,$$

где $V1$ – удельный объем пород при выполаживании со стороны лицевого откоса отвала;
 $V2$ – удельный объем пород при выполаживании со стороны естественного откоса отвала;

$$V_{1/2} = \frac{H2(\operatorname{ctg} \alpha_0 - \operatorname{ctg} \alpha)}{8}, \text{ м}^3/\text{м},$$

где H – высота отвала, м;

α, α_0 – углы откоса до выполаживания и после выполаживания, град.

Наиболее распространенным вариантом биологической рекультивации на территории Республики Бурятия, из-за отдаленности и труднодоступности доминирующей части месторождений, целесообразным является процесс самозарастания.

Ввиду полного прекращения антропогенного воздействия по окончании добычных работ процесс самозарастания происходит относительно быстро, даже при условии отсутствия почвенно-растительного слоя и малопродуктивных грунтов.

При этом, стоит отметить, что зачастую россыпное золото добывается в поймах и террасах ручьев, рек, в том числе в болотистой местности. В ходе добычных работ ведутся мелиоративные мероприятия по осушению заболоченных территорий, путем строительства водоотводных каналов, что в последующем благоприятно сказывается на зарастании осушенной местности, ввиду отвода излишней влаги.

После проведения технической рекультивации на осушенной территории начинают произрастать деревья, которые ранее не могли там расти по причине излишней влажности почв и, следовательно, гниения корней.

Для подтверждения данных доводов был осуществлен мониторинг участка добычных работ в Муйском районе Республики Бурятия. В течении 5 лет, по окончании работ и осуществления технической рекультивации производился осмотр территории на предмет самозарастания, а также динамика роста растений в условиях малопродуктивных грунтов.

По истечению одного года после окончания работ был отмечен самопосев ряда растений, преимущественно лиственницы, по причине ее произрастания вокруг добычного участка и разлету ее семян по всей площади участка добычных работ, на дороге ведущей к добычному участку процесс самозарастания незначительно отличался лишь большим разнообразием растений, произрастанием кустарников, по причине меньшей площади подвергшейся влиянию и ее более узкой формы, что позволила произрастающим вдоль дороги кустам, имеющим меньший разлет

семян по сравнению с лиственницей, осваивать данную территорию, в том числе корневым способом.

В ходе данного мониторинга было определено, что за 5 лет на всей территории карьера и на подъездных путях к нему, за исключением гале-эфельного отвала, выросли растения естественным образом, так на 2023 год высота выросших лиственниц (доминирующий вид растения в данном ареале) составляет от 50 см до 1 м, также выросли травы (иван-чай, осока), голубица, брусника и многие другие.

Выводы и заключения

Данная работа направлена на изучение процесса рекультивации нарушенных земель в результате добычи россыпного золота, сравнения и закрепления теоретического материала с учетом практических знаний.

В ходе изучения данных вопросов был составлен вывод, что сам процесс рекультивации многих месторождений происходит по более упрощенной схеме, а именно:

1. Разработка проекта рекультивации, согласно которому и будут производиться работы с последующим согласованием

2. При техническом этапе рекультивации, просто происходит выполаживание бортов и отвалов, приведение русел рек в пригодное состояние, не обязательно заново отводить воду по старому руслу (отстойники рекультивации не подлежат). ПРС может отсутствовать вовсе или же технически невозможно снять малопродуктивный (менее 5–15 см) слой почвы и соответственно его складировать в бурты для последующей рекультивации.

3. При биологическом этапе рекультивации, исходя из личного опыта, целенаправленная высадка многолетних растений зачатую не производится, ввиду невосприимчивости данных участков земли, в связи с их отдаленностью, труднодоступностью, малопродуктивности почв (согласуется с администрацией района), именно поэтому и выбирается процесс самозарастания, как этапа биологической рекультивации.

На отдаленных территориях, не подверженных антропогенному воздействию даже на малопродуктивных почвах происходит естественная сукцессия (самозарастание), которая не требует дополнительного вмешательства человека.

Одним из примеров самозарастания является отработанный карьер в Муйском районе Республики Бурятия, работы на котором были завершены в 2018 году в связи с его нерентабельностью. За 5 лет на всей территории карьера и на подъездных путях к нему, за исключением гале-эфельного отвала, выросли растения, естественным образом, так на 2023 год высота выросших лиственниц (доминирующий вид растения в данном ареале) составляет от 50 см до 1 м, также выросли травы (иван-чай, осока), голубица, брусника и многие другие.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сорокин Н.Д.* Рекультивация(санация) загрязненных участков земли / Н.Д. Сорокин. – СПб.: Знание, 2014. – 106 с.
2. *Сорокин Н.Д.* Рекультивация нарушенных земель / Н.Д. Сорокин. – СПб.: Знание, 2014. – 156 с.
3. *Сорокин Н.Д.* Пособие по разработке раздела «Мероприятия по охране окружающей среды» в составе проектной документации на линейные объекты капитального строительства / Н.Д. Сорокин. – СПб.: Знание, 2015. – 610 с.
4. *Сорокин Н.Д.* Тематический справочник по правовым и техническим актам в области охраны окружающей среды (2-е издание, переработанное и дополненное) / Н.Д. Сорокин. – СПб.: Знание, 2015. – 156 с.
5. Земельный кодекс Российской Федерации.
6. Лесной кодекс Российской Федерации.

7. Постановление правительства Российской Федерации «О проведении рекультивации и консервации земель» от 10 июля 2018 года № 800.
8. ГОСТ 17.5.1.01-83 Охрана природы (ССОП). Рекультивация земель. Термины и определения.
9. ГОСТ 17.5.1.02-85 Охрана природы (ССОП). Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации.
10. ГОСТ 17.5.3.05-84 Охрана природы (ССОП). Рекультивация земель. Общие требования к землеванию.

Нурмехамитова В.А., младший научный сотрудник¹, аспирант²

Шагидуллин А.Р., доктор технических наук, старший научный сотрудник¹, старший преподаватель²

Шагидуллина Р.А., доктор химических наук, доцент, старший научный сотрудник¹, профессор²

(¹Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан; ²Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Тунакова Ю.А., доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой¹, старший научный сотрудник²

(¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ; ²Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.07

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОКСИДОВ АЗОТА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И АНАЛИЗА КОМПЛЕКСА ОБУСЛАВЛИВАЮЩИХ ФАКТОРОВ

В статье предложена модель для расчета концентраций оксидов азота на базе многослойного персептрона, обученного на данных измерений автоматических станций контроля загрязнения воздуха. На тестовом множестве данных модель работает с коэффициентом детерминации 0,943 при средней относительной ошибке 8,9%, что делает ее пригодной для оперативного прогнозирования и анализа влияния отдельных факторов на ожидаемые уровни загрязнения.

Ключевые слова: оксиды азота, загрязнение атмосферного воздуха, многослойный персептрон, прогноз загрязнения

Nurmehamitova V.A.

Shagidullin A.R.

Shagidullina R.A.

Tunakova Ju.A.

THE NEURAL NETWORK MODEL FOR CALCULATING GROUND-LEVEL CONCENTRATIONS OF NITROGEN OXIDES IN ATMOSPHERIC AIR AND ANALYZING THE COMPLEX OF CONTRIBUTING FACTORS

The article proposes a model for calculating the concentrations of nitrogen oxides based on a multilayer perceptron trained on data from automatic air pollution monitoring stations. On the test dataset, the model performs with a determination coefficient of 0.943 and an mean percentage error of 8.9%, which makes it suitable for real-time forecasting and analysis of the impact of individual factors on expected pollution levels.

Keywords: nitrogen oxides, air pollution, multilayer perceptron, pollution forecast.

Надежный оперативный прогноз уровней загрязнения атмосферного воздуха приоритетными примесями играет важную роль для обеспечения экологической безопасности территории. В качестве объекта исследования в настоящей работе выбран атмосферный воздух г. Казань – промышленного города с миллионным населением и интенсивным движением транспорта.

В [1] приведен подробный анализ данных измерений пяти автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха (АСКЗА) города. Для города характерны локальные увеличения разовых концентраций загрязняющих веществ до повышенных и очень высоких значений, но повторяемость таких случаев оценивается как низкая, реже повышенная. В качестве наиболее приоритетных загрязняющих веществ можно выделить группу оксидов азота (NO_x), которые в приземном слое атмосферы, главным образом, представлены диоксидом (NO_2) и монооксидом (NO) азота.

Цель работы состоит в создании инструмента оперативного прогнозирования загрязнения воздуха оксидами азота, пригодного для использования в системе мониторинга качества воздуха промышленного города и для анализа чувствительности уровней загрязнения к отдельным факторам.

Важнейшим условием рассеивания является ветер. На рис. 1а приведена диаграмма зависимости средних концентраций оксидов азота от скорости ветра по данным измерений двух АСКЗА-1,2 за период 2022–2024 гг. Для каждой градации скорости приведены доверительные интервалы, которые указывают на статистическое значимое снижение концентрации с ростом скорости (ширина последних интервалов объясняется малым количеством значений, вошедших в статистику). Очевидная взаимосвязь наблюдается также с направлением ветра (рис. 1а), т.к. уровни загрязнения возрастают при ветре с направлений, где располагаются доминирующие источники выбросов.

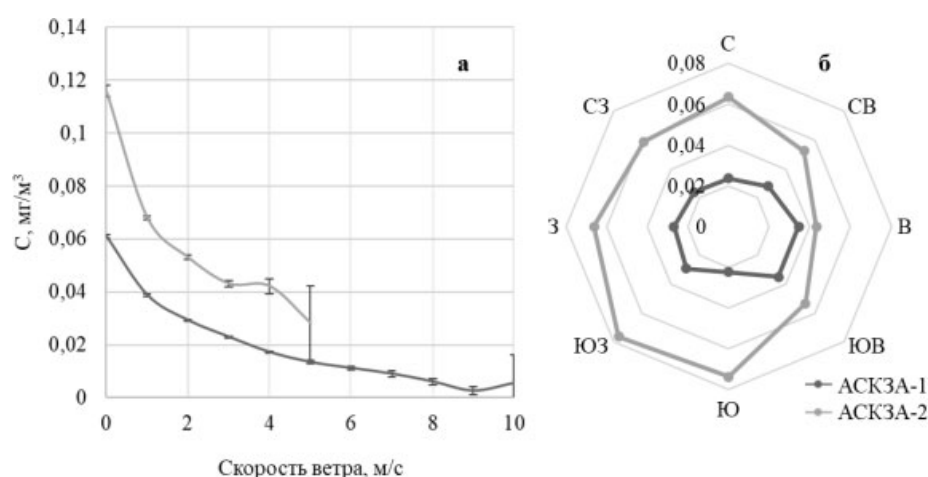


Рис. 1. Диаграмма зависимости средних концентраций NO_x от скорости ветра (а), лепестковые диаграммы зависимости средних концентраций NO_x от направления ветра (б)

Очевидной также является взаимосвязь с режимами работы источников. На рис. 2 представлена суточная динамика средних концентраций NO_x по данным АСКЗА-3. Такая форма кривой является характерной для пункта наблюдений, подверженного влиянию выбросов автотранспорта. Пики концентраций формируются в зависимости от интенсивности движения транспорта и характерных условий рассеивания примесей [2–3].

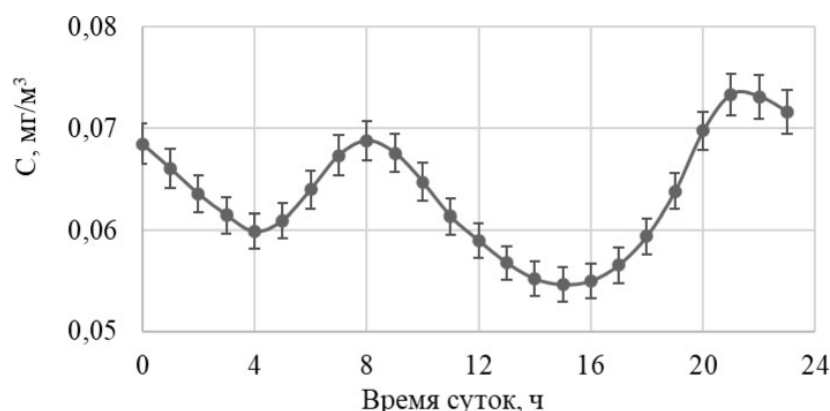


Рис. 2. Диаграммы суточной динамики изменения средних концентраций NO_x

Представленные зависимости изменения концентраций NO_x от ветра или времени суток получены на основе обработки длительного ряда измерений и позволяют получить некоторые представления об ожидаемых концентрациях в зависимости от указанных условий. Однако целью данного исследования является разработка рабочей модели, которая способна оперативно прогнозировать ожидаемые концентрации в зависимости от более широкого набора условий, определяющих изменение уровней загрязнения. Удобным инструментом для построения такой модели являются искусственные нейронные сети в виде многослойного персептрона (MLP). Теорема об универсальной аппроксимации говорит, что уже одного скрытого слоя достаточно для воспроизведения любой непрерывной функции с необходимой точностью.

С MLP была проведена серия вычислительных экспериментов для расчета актуальных значений концентраций NO_x . Использовалась архитектура: количество входных нейронов – 5–13; количество скрытых слоев – 1; количество нейронов скрытого слоя – 10–26; функция активации скрытого слоя – гиперболический тангенс; функция активации выходного слоя – линейная. Для проектирования и обучения использовалась аналитическая платформа KNIME Analytics platform с интеграцией Keras.

Все нейросетевые модели обучались на одном и том же наборе данных измерений концентраций NO_x на АСКЗА-4 за 2022–2024 гг. Начальная архитектура тестировалась с 5 входами, представляющими собой исключительно метеопараметры. По мере усложнения, набор входных параметров дополнялся сезоном, временем, данными производственного календаря (рабочий/выходной день) и результатами измерений в предшествующие сроки. В качестве метрик качества обучения выбраны коэффициент детерминации (R^2), средняя абсолютная ошибка (MAE), средняя относительная ошибка (MPE). Результаты обучения нейронной сети, полученные на тестовом множестве (10% от общего массива данных, не участвовавшие в обучении) представлены в табл. 1.

Как можно видеть, для нейросетевой модели, которая вообще не оперирует данными предшествующих измерений, получен коэффициент детерминации 0,48 и средняя относительная ошибка 27,6%. Этого недостаточно для корректного прогнозирования концентраций NO_x .

Результаты обучения MLP различной архитектуры

Входной набор данных	Количество входных параметров / эпох обучения	R ²	MAE, мг/м ³	MPE, %
Метеоусловия (направление и скорость ветра, температура, давление, влажность)	5 / 200	0,29	0,027	36,2
То же + сезон, время суток, рабочий/ выходной день	8 / 200	0,322	0,024	31,6
То же + CNOx 3 ч. назад	9 / 200	0,694	0,016	20,6
То же + CNOx 2 ч. и 1 ч. назад	11 / 200	0,812	0,013	17,6
То же + CNOx 40 мин. и 20 мин. назад	13 / 200	0,88	0,011	14,6
То же	13 / 1000	0,943	0,007	8,9

Последовательное усложнение модели с добавлением сведений о сезоне, времени суток, рабочем или нерабочем дне, а также полученных на предыдущих сроках наблюдений концентраций NOx повысить коэффициент детерминации до 0,943 (т.е. данная модель способна объяснить 94,3% дисперсии искомого признака). Значение средней абсолютной и относительной ошибок также являются более чем приемлемыми, так как не превышают инструментальные погрешности измерений.

Таким образом, представленная модель может успешно применяться для оперативного прогноза концентраций, а также анализа влияния отдельных факторов либо комплекса метеоусловий, времени суток, режима рабочего или нерабочего дня и трендов ранее наблюдавшихся концентраций на ожидаемые значения приземных концентраций NO_x.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нурмехамитова В.А., Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин Р.Р., Тунакова Ю.А. Анализ динамики и факторов формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха промышленного города Казань // Российский журнал прикладной экологии. 2026. № 1 (45). С. 78–85.
2. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Коновалов И.Б., Березин Е.В. Суточный ход загрязняющих воздух веществ по измерениям и расчетам химической транспортной модели // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 360. С. 149–167.
3. Вильфанд Р.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Звягинцев А.М., Нахаев М.И., Захарова П.В., Лапченко В.А. Мониторинг и прогнозирование качества воздуха в Московском регионе // Биосфера. 2014. Т. 6. № 4. С. 339–351.

Нурмехамитова В.А., младший научный сотрудник¹, аспирант²

Шагидуллина Р.А., доктор химических наук, доцент, старший научный сотрудник¹, профессор²

Шагидуллин А.Р., доктор технических наук, старший научный сотрудник¹, старший преподаватель²

(¹Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан; ²Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Тунакова Ю.А., доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой¹, старший научный сотрудник²

(¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ; ²Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.19

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАМКАХ КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье предложен подход для определения приоритетных условий отбора проб атмосферного воздуха в рамках контрольных мероприятий в зоне воздействия выбросов промышленных объектов с использованием нейронной сети. Полученные метрики качества обучения модели сопоставимы с погрешностью инструментальных методов измерения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Ключевые слова: выбросы в атмосферу, контроль выбросов, метеорологические условия, отбор проб.

Nurmehamitova V.A.

Shagidullina R.A.

Shagidullin A.R.

Tunakova Ju.A.

DETERMINING THE CONDITIONS FOR MONITORING AIR POLLUTION WITHIN THE FRAMEWORK OF CONTROL ACTIVITIES BASED ON THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The article proposes an approach to determining the priority conditions for sampling atmospheric air as part of regulatory activities in the area affected by emissions from industrial facilities, using a neural network. The obtained metrics of model training quality are comparable to the error of instrumental methods for measuring the concentrations of pollutants in atmospheric air.

Keywords: atmospheric emissions, emission control, meteorological conditions, sampling.

Состояние атмосферного воздуха непосредственно определяет экологическое благополучие и условия среды обитания человека, что отнесено к национальным целям развития Российской Федерации. Таким образом, важнейшим фактором обеспечения экологической безопасности является осуществление наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в рамках государственной системы мониторинга загрязнения воздуха.

Основой для этого являются территориальные системы наблюдений за загрязнением атмосферы. Однако, в условиях промышленного города с интенсивным воздействием выбросов на атмосферный воздух, необходимо также осуществление надзорных мероприятий, в том числе, с применением передвижных экологических лабораторий.

В отличие от мониторинговых наблюдений, осуществляющих измерения по заданной программе, для контрольных мероприятий важно определение наиболее приоритетных условий отбора проб.

Научная цель исследования – разработка подхода к организации наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха на основе применения нейросетевых моделей для определения наиболее приоритетных условий отбора проб.

Наблюдаемые уровни загрязнения в каждый момент времени обусловлены большим набором факторов [1], в то время как расчеты на основе регламентированной методики позволяют детализировать лишь их ограниченный набор [2]. Учет более широкого перечня условий без необходимости трудоемкого сбора подробных данных об условиях рассеивания и осуществления ресурсоемкого моделирования распространения примесей в атмосфере возможен при использовании искусственных нейронных сетей. Для целей настоящего исследования наиболее подходящим типом нейросетевой модели является многослойный персептрон (MLP).

Суть предлагаемого подхода заключается в определении релевантного набора из метеорологических факторов, фиксируемых при осуществлении мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, формировании обучающего набора данных, построении и обучении нейросетевой модели и последующем применении полученной нейросетевой модели для анализа комплексов факторов, приводящих к росту приземных концентраций (рис. 1).



Рис. 1. Схема применения нейросетевой модели для информационной поддержки надзорных мероприятий

С учетом поставленной задачи, нейросетевая модель проектировалась для расчета среднесуточных, а не разовых значений концентраций. Соответственно, набор обучающих данных формировался из среднесуточных показателей.

В качестве территории апробации предлагаемого подхода выступала территория г. Казани. Для формирования обучающего набора данных использовались результаты измерений автоматических станций контроля загрязнения атмосферы, функционирующих на территории города. В соответствии с [3], в качестве наиболее приоритетной группы загрязнителей модель тестировалась на концентрациях суммы оксидов азота.

Предикторами модели выступали метеорологические условия в текущую дату (направление и скорость ветра, количество осадков, относительная влажность, атмосферное давление, температура), метеорологические условия в предыдущие сутки, концентрация NO_x в предыдущие сутки, рабочий/выходной день (1/2), сезон (1/2/3/4).

Архитектура нейронной сети MLP, конкретизированная в результате серии вычислительных экспериментов: количество входных параметров – 15, количество скрытых слоев – 1 (30 нейронов), функции активации – $\tanh$ (скрытый слой), линейная (выходной слой).

В результате обучения (KNIME Analytics platform с интеграцией Keras) на тестовом множестве достигнутыми минимальными показателями ошибки модели стали средняя абсолютная ошибка 0,013 мг/м³ и средняя относительная ошибка 17,8% (рис. 2). Как можно видеть, полученные метрики качества обучения сопоставимы с погрешностями инструментальных методов измерения концентраций оксидов азота в атмосферном воздухе. Таким образом, обучение модели можно считать успешным.

Дальнейшее применение полученной модели заключается в подстановке необходимых входных параметров в модель и определении прогнозируемых уровней загрязнения для принятия решения о целесообразности проведения измерений.

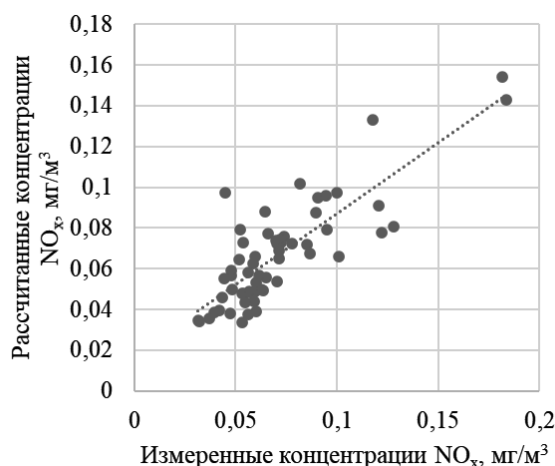


Рис. 2. Сопоставление значений измеренных и рассчитанных нейронной сетью концентраций NO_x

Таким образом, разработанный подход может применяться для информационной поддержки осуществления контрольных мероприятий в зоне воздействия выбросов промышленных объектов, как в рамках работы передвижных экологических лабораторий уполномоченных государственных органов, так и в рамках осуществления производственного экологического контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильфанд Р.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Звягинцев А.М., Нахаев М.И., Захарова П.В., Лапченко В.А. Мониторинг и прогнозирование качества воздуха в Московском регионе // Биосфера. 2014. Т. 6. № 4. С. 339–351.

2. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утв. Приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273)
3. *Нурмехамитова В.А., Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин Р.Р., Тунакова Ю.А.* Анализ динамики и факторов формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха промышленного города Казань // Российский журнал прикладной экологии. 2026. № 1 (45). С. 78–85.

Биологические ресурсы

Рыжова Л.В., кандидат биологических наук, доцент

(Марийский государственный университет;
Государственный природный заповедник
«Большая Кокшага»)

Иванова А.В.

(Марийский государственный университет)

ФИТОМАССА ТРАВЯНИСТОГО ЯРУСА ЧЕРНООЛЬШАНИКОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА» РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

В работе представлены результаты изучения биомассы травянистого яруса черноольховых лесов в заповеднике «Большая Кокшага» Республики Марий Эл. Исследования проводились в 2022–2024 гг. на 10 пробных площадях, заложенных в поймах рек Большая Кокшага, Им-Энер, Шеж-Энер, Витьюм, Ларь и Ошма энгер. Максимальная воздушно-сухая биомасса травостоя зафиксирована в черноольшанике крапивном (ПП 3) – более 300 г/м². Вклад отдельных видов в общую биомассу определяется их обилием в сообществе: в крапивных ассоциациях доминирует крапива двудомная (до 99% биомассы), в кочедыжниковых – кочедыжник женский (32–46%), в таволговых – таволга вязолистная (до 45–54%). Второстепенными видами-субдоминантами выступают чистец болотный, паслён сладко-горький, окопник лекарственный, калужница болотная и камыш лесной, вклад которых не превышает 27%. Полученные данные могут быть использованы для мониторинга продуктивности и динамики черноольховых лесов в условиях заповедных территорий.

Ключевые слова: черноольшаники, травянистый ярус, фитомасса, заповедник «Большая Кокшага», продуктивность.

Ryzhova L. V.

Ivanova A. V.

PHYTOMASS OF THE GRASS LAYER OF BLACK ALDER FORESTS IN THE “BOLSHAYA KOKSHAGA” STATE NATURE RESERVE, MARI EL REPUBLIC

This paper presents the results of a study of the herbaceous layer biomass of black alder forests in the Bolshaya Kokshaga Nature Reserve, Mari El Republic. The research was conducted in 2022–2024 on 10 sample plots established in the floodplains of the Bolshaya Kokshaga, Im-Ener, Shezh-Ener, Vityum, Lar, and Oshma Eger Rivers. The maximum air-dry biomass of the herbage was recorded in the nettle black alder grove (PP 3) – more than 300 g/m². The contribution of individual species to the total biomass is determined by their abundance in the community: stinging nettle associations are dominated by stinging nettle (up to 99% of the biomass), lady's lady fern (32–46%), and meadowsweet associations by meadowsweet (up to 45–54%). Secondary subdominant species include marsh stachys, bittersweet nightshade, common comfrey, marsh marigold, and wood bulrush, each contributing no more than 27%. The data obtained can be used to monitor the productivity and dynamics of black alder forests in protected areas.

Keywords: black alder forests, herbaceous layer, phytomass, Bolshaya Kokshaga Nature Reserve, productivity.

Черноольховые леса – особые типы лесов, которые отличаются избыточным проточным увлажнением. Для черноольшаников характерно сравнительно слабое участие в древостое других видов и часто хорошо развитый на протяжении ареала формации довольно разнообразный

подлесок. Древесный ярус образует ольха черная *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., иногда с примесью березы пушистой *Betula pubescens* Ehrh. [4]. Травянистый ярус достаточно разнообразный и представлен преимущественно влаголюбивыми и нитрофильными видами.

В Республике Марий Эл черноольховые леса встречаются преимущественно узкой полосой на глеево-полуболотных почвах, в основном по слабо заливаемым долинам лесных рек [2]. В заповеднике «Большая Кокшага» на долю черноольховых лесов приходится 6,1% от площади, занятой лесами [3].

Цель работы – определение фитомассы травянистого яруса черноольховых лесов в заповеднике «Большая Кокшага» Республики Марий Эл. Данная работа представляет собой часть комплексной работы по изучению структуры и продуктивности черноольшаников в заповеднике, их роли в биологическом круговороте.

Исследования проводились в июле 2022–2024 гг. в 10 черноольховых лесах заповедника «Большая Кокшага», расположенных в поймах крупной (р. Большая Кокшага) и малых лесных рек. Характеристика пробных площадей (ПП) представлена в таблице 1.

Таблица 1

Общая характеристика черноольшаников

№ пробной площади	Название ассоциации	Расположение	Почвы	Общее проективное покрытие травянистого яруса, %
1	черноольшаник крапивно-таволговый	пойма р. Большая Кокшага	перегнойно-глеевые	80
2	черноольшаник белокрыльниково-кочедыжниковый	пойма р. Им-Энер, верховье	перегнойно-глеевые	80
3	черноольшаник крапивный	пойма р. Им-Энер, близ устья	перегнойно-глеевые	100
4	черноольшаник таволговый	пойма р. Шеж-Энер	перегнойно-глеевые	95
5	черноольшаник таволгово-крапивный	пойма р. Витьюм	перегнойно-глеевые	75
6	черноольшаник крапивно-кочедыжниковый	пойма р. Ларь, верховье	низинные торфяные	80
7	черноольшаник кочедыжниково-белокрыльниковый	пойма р. Ларь, близ устья	низинные торфяные	90
8	черноольшаник таволгово-кочедыжниковый	пойма р. Ошма-Энер	низинные торфяные	75
9	черноольшаник чистецово-таволгово-крапивный	пойма р. Большая Кокшага	перегнойно-глеевые	90
10	черноольшаник крапивный	пойма р. Большая Кокшага	перегнойно-глеевые	65

В пределах пробных площадей черноольховых лесов проведены геоботанические описания, которые были обработаны по экологическим шкалам Д.Н. Цыганова [5] с помощью автоматического метода, предложенного Г.Н. Бузук и О.В. Созиновым [1]. Черноольховые леса характеризуются в целом близкими экологическими условиями с небольшими отличиями. ПП 6, 7 и 8 отличаются бедными азотом почвами; ПП 1 и 10 – довольно богатыми почвами; ПП 2–5, 9 и 10 – слабо переменным увлажнением; ПП 1 и 3 – слабокислыми почвами.

Для сравнения местообитаний черноольховых лесов по балловым характеристикам экологических шкал был проведен кластерный анализ методом иерархической классификации. В первый кластер попали черноольшаники белокрыльниково-кочедыжниковый (ПП 7) и таволгово-кочедыжниковый (ПП 8). Во второй кластер входят черноольшаники крапивно-кочедыжниковый (ПП 6) и белокрыльниково-кочедыжниковый (ПП 2). Третий кластер образуют черноольшаники крапивный (ПП 3), крапивно-таволговый (ПП 4) и таволгово-крапивный (ПП 5). Четвертый кластер включает крапивно-таволговый (ПП 1), чистецово-таволгово-крапивный (ПП 9) и крапивный (ПП 10) черноольшаники, расположенные в пойме р. Большая Кокшага.

Таким образом, в первый и второй кластеры попали черноольшаники, в травянистом ярусе которых доминирует кочедыжник (с обилием 3–4 балла). В этих местообитаниях низинные торфяные почвы (исключение составляет ПП 2, где отмечены перегнойно-глеевые); по экологическим шкалам местообитания отличаются бедными азотом и кислыми почвами, относительно устойчивым увлажнением. Третий и четвертый кластеры образуют черноольшаники, в травянистом ярусе которых доминируют крапива двудомная *Urtica dioica* L. (обилие 2–5) и таволга вязолистная *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (обилие 2–4). В этих местообитаниях перегнойно-глеевые почвы; по экологическим шкалам они отличаются переходными к достаточно обеспеченным азотом, слабокислыми почвами и слабо переменным увлажнением.

Оценку биомассы травянистого яруса черноольшаников проводили методом пробных укосов в период наибольшего развития травостоя – в середине июля. Для этого на наиболее типичном участке исследуемого сообщества закладывалось по 5 учетных площадок размером 1 м². Затем травянистые растения на учетных площадках срезали на уровне почвы. Полученную массу разбирали отдельно по видам растений и взвешивали. Далее растения высушивали в сухом проветриваемом помещении до воздушно-сухого состояния и еще раз взвешивали. Взвешивание проводилось с помощью электронных весов с точностью до 0,01 г.

Наибольшие значения средней воздушно-сухой биомассы травостоя наблюдаются в черноольшанике крапивном (ПП 3) – более 300 г/м². В черноольшаниках крапивно-таволговом (ПП 1), таволгово-крапивном (ПП 5) и таволгово-кочедыжниковом (ПП 8) биомасса травянистого яруса составляет более 200 г/м². В остальных черноольшаниках воздушно-сухая биомасса не превышает 160 г/м².

Вклад разных видов растений в общую биомассу различный. Наибольшую биомассу дают растения-доминанты. Обилие таволги вязолистной во всех изученных черноольшаниках достаточно высокое, поэтому ее вклад в общую биомассу также достаточно большой – от 19–24% (ПП 2, ПП 9, ПП 10) до 45–54% (ПП 7, ПП 8). Вклад крапивы двудомной изменяется в разных черноольшаниках в большей степени. Так, в черноольшанике крапивном (ПП 3), где обилие крапивы составляет 5 баллов, на нее приходится 99% всей биомассы. В черноольшаниках крапивно-таволговом (ПП 4), таволгово-крапивном (ПП 5) и крапивном (ПП 10) вклад крапивы также достаточно большой – 38–44%.

Также наибольший вклад (32–46%) в общую биомассу травянистого яруса приходится на кочедыжник женский *Athyrium filix-femina* (L.) Roth в тех ассоциациях, где этот вид имеет достаточно большое обилие: в белокрыльниково-кочедыжниковой (ПП 2), кочедыжниково-белокрыльниковой (ПП 7), крапивно-кочедыжниковой (ПП 6) и таволгово-кочедыжниковой (ПП 8). Среди других видов можно выделить следующие виды со значительным вкладом. Так,

в черноольшаниках чистецово-таволгово-крапивном (ПП 9) и крапивно-таволговом (ПП 1) достаточно большой вклад в биомассу дают чистец болотный *Stachys palustris* L. (27 и 12%, соответственно), паслен сладко-горький *Solanum dulcamara* L. (15 и 10%), окопник лекарственный *Symphytum officinale* L. (10 и 12%). Калужница болотная *Caltha palustris* L. вносит более 16% в черноольшанике крапивном (ПП 10), камыш лесной *Scirpus sylvaticus* L. в черноольшанике таволгово-крапивном (ПП 5) – 11%. Вклад остальных растений не превышает 7%.

На основании полученных данных, в черноольховых лесах заповедника «Большая Кокшага» установлена чёткая зависимость между эдафическими условиями местообитаний, структурой травянистого яруса и его продуктивностью. Продуктивность травянистого яруса закономерно снижается при переходе от богатых перегнойно-глеевых почв к бедным низинным торфяным. Наиболее высокая биомасса (свыше 300 г/м²) отмечена в крапивных ассоциациях на слабокислых, богатых азотом почвах, где крапива двудомная даёт до 99% фитомассы. На среднеобеспеченных почвах со слабо переменным увлажнением формируются таволгово-крапивные сообщества с биомассой 200–250 г/м², где вклад крапивы составляет 38–44%, а таволги – 19–24%. На бедных азотом кислых торфяниках биомасса снижается до 160–200 г/м², а доминирование переходит к кочедыжнику женскому, вклад которого достигает 32–46%.

Структура биомассы определяется не только обилием доминантов, но и экологической пластичностью субдоминантов. На почвах с умеренным плодородием возрастает роль чистца болотного, паслёна сладко-горького и окопника лекарственного (суммарный вклад в биомассу составляет до 37–52%), тогда как в переувлажнённых местообитаниях заметную роль начинает играть калужница болотная (вклад в биомассу более 16%).

Таким образом, биомасса травянистого яруса черноольшаников хорошо коррелирует с трофностью и кислотностью почв, а видовая структура сообществ отражает градиенты увлажнения и азотного режима. Полученные результаты могут служить основой для мониторинга продуктивности черноольховых лесов, оценки их роли в биологическом круговороте веществ и разработки мер охраны этих уникальных экосистем в условиях заповедного режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузук Г.Н., Созинов О.В. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д.Н. Цыганова) // Ботаника (исследования): сборник научных трудов. Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2009. Вып. 37. С. 356–362.
2. Данилов М.Д. Растительность Марийской АССР. – Йошкар-Ола: Мар. кн. изд-во, 1956. 148 с.
3. Демаков Ю.П. Структура земель и лесов заповедника // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 2. – Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2007. С. 9–49.
4. Коновалова И.А., Скоробогатая М.Н. Особенности черноольховых сообществ ООПТ «Медведский бор» // Общество. Наука. Инновации (НПК-2022). Сб. статей XXII Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х томах. Том 2. – Киров: Вятский гос. ун-т, 2022. С. 24–29.
5. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. – М., 1983. 197 с.

Гигиена

Габаева М.М., кандидат медицинских наук, доцент

Мутиева Х.А.

Халимбекова Р.К.

Витаева З.В.

Магамадова А.И.

Садулаев А.О.

(Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.08

ОСВЕДОМЛЁННОСТЬ О МЕТОДАХ КОНТРАЦЕПЦИИ И БАРЬЕРЫ К ПРИМЕНЕНИЮ ПРОЛОНГИРОВАННЫХ ОБРАТИМЫХ МЕТОДОВ У ЖЕНЩИН РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Цель – оценить осведомлённость о методах контрацепции, структуру контрацептивного поведения и барьеры к применению пролонгированных обратимых методов контрацепции (ЛАРК) у женщин репродуктивного возраста Кабардино-Балкарской Республики. Материал и методы. Одномоментное сравнительное исследование, 200 женщин 17–40 лет: 120 студенток вуза и 80 пациенток женской консультации; осведомлённость оценивали по шкале 0–20 баллов. Применены критерий χ^2 , критерии Манна – Уитни и Краскела – Уоллиса, корреляция Спирмена, бинарная логистическая регрессия. Результаты. Низкий уровень осведомлённости выявлен у 43,5% респондентов (средний балл $10,0 \pm 5,9$). Осведомлённость о ЛАРК минимальна: подкожный имплант хорошо знали 6,5%, ЛНГ-содержащую внутриматочную систему – 17,0%. Среди 153 сексуально активных женщин традиционные методы и отказ от контрацепции составили 53,6%, доля ЛАРК – 12,4%. Ведущие барьеры – представление о неприемлемости метода для нерожавших (21,6%) и страх осложнений (21,6%). Независимые предикторы готовности к ЛАРК: осведомлённость выше низкой (ОШ 4,74; 95% ДИ 2,22–10,10) и отсутствие убеждённости в том, что внутриматочная спираль вызывает бесплодие (ОШ 0,31; 95% ДИ 0,15–0,63). Заключение. Основным резервом повышения эффективности контрацепции в регионе является структурированное консультирование, корректирующее информационный дефицит и устойчивые мифы.

Ключевые слова: контрацепция, осведомлённость, пролонгированная обратимая контрацепция, внутриматочная спираль, непланируемая беременность, барьеры, Кабардино-Балкарская Республика.

Gabaeva M.M.

Mutieva Kh.A.

Khalimbekova R.K.

Vitaeva Z.V.

Magamadova A.I.

Sadulaev A.O.

AWARENESS OF CONTRACEPTIVE METHODS AND BARRIERS TO LONG-ACTING REVERSIBLE CONTRACEPTION AMONG WOMEN OF REPRODUCTIVE AGE IN THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC

Objective – to assess awareness of contraceptive methods, the pattern of contraceptive behaviour and barriers to long-acting reversible contraception (LARC) among women of reproductive age in the

Kabardino-Balkarian Republic. Material and methods. A cross-sectional comparative study included 200 women aged 17–40 years: 120 university students and 80 antenatal clinic outpatients; awareness was scored on a 0–20 scale. The χ^2 test, Mann – Whitney and Kruskal – Wallis tests, Spearman correlation and binary logistic regression were used. Results. Low awareness was found in 43.5% of respondents (mean score 10.0 ± 5.9). Awareness of LARC was the lowest: the subdermal implant was well known to 6.5% and the LNG-releasing intrauterine system to 17.0%. Among 153 sexually active women, traditional methods and non-use accounted for 53.6%, whereas LARC accounted for 12.4%. The leading barriers were the belief that the method is unsuitable for nulliparous women (21.6%) and fear of complications (21.6%). Awareness above the low level (OR 4.74; 95% CI 2.22–10.10) and the absence of the belief that an intrauterine device causes infertility (OR 0.31; 95% CI 0.15–0.63) were independent predictors of readiness to use LARC. Conclusion. Structured counselling correcting the information deficit and persistent myths is the main reserve for improving contraceptive effectiveness in the region.

Keywords: contraception, awareness, long-acting reversible contraception, intrauterine device, unintended pregnancy, barriers, Kabardino-Balkarian Republic.

Введение

Профилактика непланируемой беременности сохраняет значение приоритетной задачи охраны репродуктивного здоровья населения. Национальные клинические рекомендации рассматривают подбор метода контрацепции как обязательный элемент диспансерного наблюдения женщин фертильного возраста и подчёркивают приоритет средств, эффективность которых не зависит от поведения пользователя [1]. Вместе с тем структура контрацептивного выбора в российской популяции остаётся смещённой в сторону методов, требующих постоянного самоконтроля [2].

Охват контрацепцией в России сопоставим с показателями развитых стран, однако устойчиво преобладают презерватив и прерванный половой акт, тогда как доля внутриматочных и пролонгированных гормональных средств низка [2, 4]. Отчёт «Репродуктивное здоровье населения России» подтверждает распространённость опыта применения современных методов при недостаточной регулярности их использования [8]. До двух третей женщин прекращают приём комбинированных оральных контрацептивов в течение первого года, а нарушения режима отмечаются у большинства пользовательниц [3, 6].

Пролонгированные обратимые методы контрацепции (long-acting reversible contraception, LARC; далее – ЛАРК) – внутриматочные средства и подкожные импланты – обладают наилучшим соотношением эффективности и приверженности: в исследовании CHOICE частота неудач при их применении была в 20 раз ниже, чем при использовании таблеток, пластыря или кольца [9]. Обзоры и руководства подтверждают безопасность этих методов у нерожавших женщин и подростков [10, 11], а критерии приемлемости ВОЗ не содержат ограничений по паритету [12]. Поскольку контрацептивное поведение определяется социокультурным контекстом, экстраполяция общероссийских данных на субъекты Северо-Кавказского федерального округа неправомерна [5, 7]; сопоставительный анализ студенческой и амбулаторной когорт в Кабардино-Балкарской Республике ранее не проводился.

Цель исследования

Оценить осведомлённость о методах контрацепции, структуру контрацептивного поведения и барьеры к применению ЛАРК у женщин репродуктивного возраста Кабардино-Балкарской Республики и установить факторы, независимо связанные с готовностью к применению этих методов.

Материал и методы исследования

Выполнено одномоментное (поперечное) сравнительное исследование. Включены 200 женщин, проживающих в Кабардино-Балкарской Республике: 120 студенток вуза (группа I) и 80 пациенток женской консультации (группа II). Критерии включения: возраст 17–40 лет, постоянное

проживание в регионе, информированное согласие; критерии невключения: беременность на момент опроса, установленное бесплодие, отказ от участия.

Инструментом служила структурированная анкета (социально-демографический блок, репродуктивный анамнез, осведомлённость, фактическое контрацептивное поведение, барьеры). Осведомлённость оценивали по десяти методам – презерватив; комбинированные оральные контрацептивы; экстренная контрацепция; медьсодержащая внутриматочная спираль; левоноргестрел-содержащая внутриматочная система; подкожный имплант; инъекционные контрацептивы; кольцо и пластырь; календарный метод и прерванный половой акт; хирургическая стерилизация, – каждый в 0 баллов («не знаю»), 1 балл («слышала») или 2 балла («знаю принцип действия»). Суммарный балл 0–8 расценивали как низкий уровень, 9–14 – средний, 15–20 – высокий. Готовность к применению ЛАРК оценивали по пятибалльной порядковой шкале.

Обработку проводили в Python 3.11 (pandas, SciPy, statsmodels). Количественные признаки представлены как $M \pm SD$, качественные – как n (%). Использованы критерий χ^2 Пирсона, критерии Манна – Уитни и Краскела – Уоллиса, ранговая корреляция Спирмена и бинарная логистическая регрессия с расчётом отношения шансов (ОШ) и 95% доверительного интервала (ДИ); критический уровень значимости – 0,05. Исследование выполнено согласно принципам Хельсинкской декларации, анкетирование было анонимным.

Результаты исследования

Средний возраст обследованных составил $23,4 \pm 5,1$ года, в сельской местности проживали 84 (42,0%) женщины. Группы различались по возрасту, семейному положению и репродуктивному анамнезу (таблица 1). Половой жизнью жили 153 (76,5%) респондента, возраст сексуального дебюта – $18,2 \pm 1,6$ года без межгрупповых различий ($p = 0,247$). Нежеланная беременность в анамнезе отмечена у 36 (18,0%) женщин, искусственное прерывание беременности – у 29 (14,5%).

Таблица 1

Сравнительная характеристика групп обследованных женщин ($n = 200$)

Показатель	Группа I, $n = 120$	Группа II, $n = 80$	Всего, $n = 200$	p
Возраст, лет ($M \pm SD$)	$20,3 \pm 1,8$	$28,1 \pm 4,8$	$23,4 \pm 5,1$	$< 0,001$
Сельская местность, n (%)	47 (39,2)	37 (46,2)	84 (42,0)	0,396
Состоят в браке, n (%)	17 (14,2)	50 (62,5)	67 (33,5)	$< 0,001$
Живут половой жизнью, n (%)	76 (63,3)	77 (96,2)	153 (76,5)	$< 0,001$
Роды в анамнезе (≥ 1), n (%)	27 (22,5)	49 (61,3)	76 (38,0)	$< 0,001$
Аборт в анамнезе (≥ 1), n (%)	7 (5,8)	22 (27,5)	29 (14,5)	$< 0,001$
Нежеланная беременность, n (%)	8 (6,7)	28 (35,0)	36 (18,0)	$< 0,001$
Консультация гинеколога за 12 мес, n (%)	39 (32,5)	68 (85,0)	107 (53,5)	$< 0,001$
Балл осведомлённости ($M \pm SD$)	$8,1 \pm 5,4$	$12,8 \pm 5,5$	$10,0 \pm 5,9$	$< 0,001$
Низкий уровень осведомлённости, n (%)	70 (58,3)	17 (21,2)	87 (43,5)	$< 0,001$
Применение ЛАРК, n (%)	6 (5,0)	13 (16,2)	19 (9,5)	0,016
Готовность к ЛАРК, баллы ($M \pm SD$)	$3,2 \pm 1,2$	$3,8 \pm 1,1$	$3,4 \pm 1,2$	$< 0,001$

Примечание: группа I – студентки вуза, группа II – пациентки женской консультации.

Средний балл осведомлённости составил $10,0 \pm 5,9$ из 20. Низкий уровень зарегистрирован у 87 (43,5%) женщин, средний – у 60 (30,0%), высокий – у 53 (26,5%). Осведомлённость распределялась неравномерно по методам (рисунок 1): при высокой информированности о барьерном и традиционных методах знание пролонгированных средств оказалось минимальным – подкожный имплант хорошо знали 13 (6,5%) женщин, а 126 (63,0%) не знали о нём вовсе; левоноргестрел-содержащую систему хорошо знали 34 (17,0%) респондента.

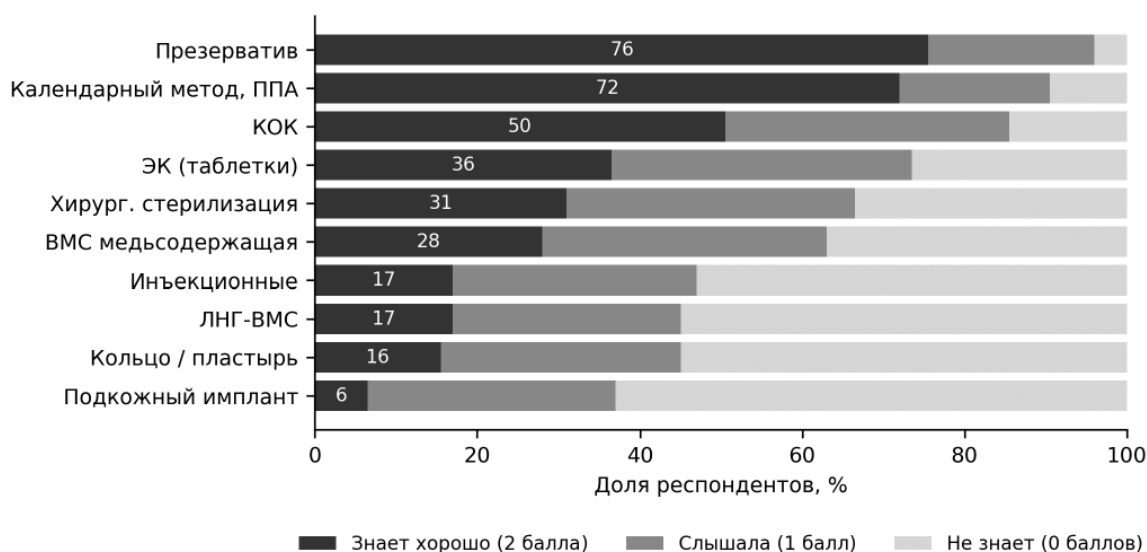


Рис. 1. Структура осведомлённости о методах контрацепции ($n = 200$), %

Уровень осведомлённости не зависел от места жительства ($p = 0,969$), но был выше у пациенток женской консультации ($12,8 \pm 5,5$ против $8,1 \pm 5,4$ балла; $p < 0,001$) и у женщин, обращающихся к акушеру-гинекологу в течение 12 месяцев ($12,4 \pm 5,5$ против $7,2 \pm 5,1$ балла; $p < 0,001$). Основным источником информации 68 (34,0%) женщин назвали врача, 64 (32,0%) – интернет; высокий уровень осведомлённости отмечен у 39,7% ориентированных на врача и лишь у 21,9% ориентированных на интернет ($p < 0,001$).

У 153 сексуально активных женщин структура применяемых методов смещена в сторону средств низкой эффективности (таблица 2): традиционные методы и полный отказ от контрацепции суммарно составили 53,6%, тогда как на ЛАРК пришлось 12,4%. Регулярное применение отметили 62 (40,5%) женщины, эпизодическое – 58 (37,9%), без различий между группами ($p = 0,924$). Экстренную контрацепцию в анамнезе указали 26 (17,0%) респондентов.

Среди 134 сексуально активных женщин, не применяющих ЛАРК, преобладали барьеры информационного и психологического характера (рисунок 2): убеждение в неприемлемости метода для нерожавших (29; 21,6%) и страх осложнений (29; 21,6%); ещё 17 (12,7%) указали на убеждённость в том, что метод вызывает бесплодие. Экономический барьер занял четвертое место (14; 10,4%), а возражения партнёра (11; 8,2%) и религиозно-семейные установки (11; 8,2%) суммарно составили 16,4%.

Убеждённость в том, что внутриматочная спираль вызывает бесплодие, разделяли 72 (36,0%) респондента; у них были ниже балл осведомлённости ($7,3 \pm 5,6$ против $12,2 \pm 5,7$; $p < 0,001$) и готовность к применению ЛАРК ($2,8 \pm 1,2$ против $3,9 \pm 1,1$ балла; $p < 0,001$). Балл осведомлённости прямо коррелировал с готовностью к ЛАРК ($p = 0,578$; $p < 0,001$), а применение ЛАРК было чаще у женщин, обращавшихся к гинекологу в течение года (ОШ 3,63; 95% ДИ 1,16–11,35; $p = 0,036$).

Таблица 2

Структура применяемых методов контрацепции у сексуально активных женщин (n = 153)

Метод контрацепции	Группа I, n = 76	Группа II, n = 77	Всего, n = 153
Презерватив	21 (27,6)	12 (15,6)	33 (21,6)
Комбинированные оральные контрацептивы	9 (11,8)	6 (7,8)	15 (9,8)
Инъекционные контрацептивы	1 (1,3)	3 (3,9)	4 (2,6)
Медьсодержащая внутриматочная спираль	6 (7,9)	7 (9,1)	13 (8,5)
Левоноргестрел-содержащая система	0 (0,0)	4 (5,2)	4 (2,6)
Подкожный имплант	0 (0,0)	2 (2,6)	2 (1,3)
Прерванный половой акт	17 (22,4)	16 (20,8)	33 (21,6)
Календарный метод	6 (7,9)	10 (13,0)	16 (10,5)
Не использует контрацепцию	16 (21,1)	17 (22,1)	33 (21,6)
В том числе ЛАРК (суммарно)	6 (7,9)	13 (16,9)	19 (12,4)

Примечание: данные представлены как n (%) от численности соответствующей группы.



Рис. 2. Ведущие барьеры к применению ЛАРК у сексуально активных женщин, не использующих эти методы (n = 134), %

По результатам многофакторного анализа независимыми предикторами высокой готовности к применению ЛАРК (4–5 баллов) оказались только два фактора – уровень осведомлённости выше низкого и отсутствие убеждённости в бесплодии как следствии применения внутриматочной спирали (таблица 3). Возраст, место жительства, семейное положение, паритет и факт консультации гинеколога независимого влияния не сохранили; модель значима ($p < 0,001$), псевдо- R^2 Макфаддена – 0,24.

Обсуждение

Полученные данные подтверждают диспропорцию между широким выбором современных средств и фактическим преобладанием методов низкой эффективности. Доля презерватива и прерванного полового акта суммарно составила 43,2%, что согласуется с результатами популяционного опроса 1007 женщин [2]. Ответственность за предупреждение беременности фактически смещается в зону контроля партнёра, что снижает надёжность контрацептивной защиты [4].

**Предикторы высокой готовности к применению ЛАРК:
бинарная логистическая регрессия (n = 200)**

Предиктор	ОШ	95% ДИ	p
Уровень осведомлённости выше низкого	4,74	2,22–10,10	< 0,001
Убеждённости «ВМС вызывает бесплодие»	0,31	0,15–0,63	0,001
Проживание в сельской местности	1,70	0,86–3,38	0,128
Роды в анамнезе (≥ 1)	1,62	0,75–3,48	0,220
Консультация гинеколога за 12 мес	1,62	0,76–3,41	0,209
Состояние в браке	1,41	0,63–3,16	0,410
Возраст 25 лет и старше	0,93	0,39–2,23	0,869

Примечание: ОШ – отношение шансов, ДИ – доверительный интервал; ВМС – внутриматочная спираль.

Отличием региональной выборки является глубина информационного дефицита: если в общероссийском исследовании информированность о медьсодержащей внутриматочной спирали достигала 71%, то здесь уверенное знание метода продемонстрировали 28,0% женщин, а под кожного импланта – 6,5% [2, 3]. Столь низкая осведомлённость о пролонгированных средствах ограничивает возможность информированного выбора и объясняет минимальную долю ЛАРК в структуре применения [4, 8].

Ключевым результатом следует считать доминирование когнитивных, а не экономических барьеров: представления о неприемлемости внутриматочных средств для нерожавших и о постконтрацептивном бесплодии в сумме определили более трети всех препятствий, тогда как стоимость назвали лишь 10,4% респондентов. Между тем современные руководства указывают на отсутствие ограничений по паритету и негативного влияния этих методов на последующую фертильность [11, 12], а исследование CHOICE продемонстрировало высокую эффективность и приверженность ЛАРК у молодых нерожавших женщин [9, 10]. Выявленные барьеры представляют собой корригируемый информационный, а не клинический феномен.

Значимость профессионального консультирования подтверждается одномерным и многомерным анализом: обращение к акушеру-гинекологу сопровождалось более высоким баллом осведомлённости и трёхкратным увеличением шансов применения ЛАРК, тогда как ориентация на интернет ассоциировалась с низким уровнем знаний. Сходные закономерности описаны в работах об информированности и приверженности российских пользовательниц контрацепции, где недостаточный доступ к квалифицированному консультированию рассматривается как ведущая причина ошибок применения и раннего отказа от метода [3, 5, 6], что особенно значимо для подростков и молодых женщин [7].

Ограничения работы обусловлены одномоментным дизайном, невероятностной выборкой двух специфических когорт и опорой на самоотчёт. Сильными сторонами являются достаточный объём выборки, стандартизованный инструмент оценки осведомлённости и многофакторный анализ, позволивший разграничить самостоятельное и опосредованное влияние изучаемых факторов.

Заключение

Осведомлённость женщин репродуктивного возраста Кабардино-Балкарской Республики о методах контрацепции недостаточна: низкий уровень выявлен у 43,5% респондентов, знания о пролонгированных обратимых методах минимальны, а структура контрацептивного поведения смещена в сторону традиционных методов и отказа от контрацепции (53,6% сексуально активных женщин) при доле ЛАРК 12,4%.

Основными барьерами к применению ЛАРК выступают корректируемые когнитивные факторы, а независимыми предикторами готовности – уровень осведомлённости выше низкого (ОШ 4,74) и отсутствие мифологизированных представлений о внутриматочной контрацепции (ОШ 0,31). Результаты обосновывают внедрение структурированного контрацептивного консультирования на этапе первичного звена и образовательных программ для студенческой молодёжи с акцентом на доказательную информацию о пролонгированных методах.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование выполнено без внешнего финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контрацепция. Наблюдение за применением: клинические рекомендации / Российское общество акушеров-гинекологов; Министерство здравоохранения Российской Федерации. – М., 2023. – 80 с.
2. Дикке Г.Б. Контрацепция в современной России: применение и информированность (популяционное исследование) / Г.Б. Дикке, Л.В. Ерофеева // Акушерство и гинекология. 2016. № 2. – С. 108–113.
3. Дикке Г.Б. Современные особенности национальной контрацепции: информированность, применение и эффективность / Г.Б. Дикке, Л.В. Ерофеева // Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. 2014. Т. 13, № 5. – С. 63–71.
4. Денисов Б.П. Применение контрацепции в России (по материалам выборочного обследования) / Б.П. Денисов, В.И. Сакевич // Доказательная медицина и клиническая эпидемиология. 2009. № 1. – С. 34–39.
5. Прилепская В.Н. От аборта к сохранению репродуктивного здоровья: новое в контрацепции / В.Н. Прилепская // Фарматека. 2013. № 12. – С. 46–49.
6. Международный проект «CHOICE»: краткий обзор результатов исследования / В.Н. Прилепская, Н.М. Назарова, М.А. Тарасова, А.Б. Летуновская // Гинекология. 2010. Т. 12, № 4. – С. 26–28.
7. Уварова Е.В. Комбинированная гормональная контрацепция у сексуально активных подростков и молодежи / Е.В. Уварова // Русский медицинский журнал. 2008. Т. 16, № 19. – С. 1232–1235.
8. Репродуктивное здоровье населения России, 2011: резюме отчета. – М., 2012. – 60 с.
9. Effectiveness of long-acting reversible contraception / B. Winner, J.F. Peipert, Q. Zhao [et al.] // The New England Journal of Medicine. 2012. Vol. 366, No. 21. – P. 1998–2007.
10. Stoddard A. Efficacy and safety of long-acting reversible contraception / A. Stoddard, C. McNicholas, J.F. Peipert // Drugs. 2011. Vol. 71, No. 8. – P. 969–980.
11. Long-acting reversible contraception: the effective and appropriate use of long-acting reversible contraception: NICE Clinical Guideline CG30 / National Collaborating Centre for Women's and Children's Health. – London: RCOG Press, 2013. – 154 p.
12. Medical eligibility criteria for contraceptive use. – 5th ed. – Geneva: World Health Organization, 2015. – 276 p.

Фармакология, клиническая фармакология

Копытов А.А., доктор медицинских наук,
профессор

(Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Юшманова Т.Н., доктор медицинских наук, профессор

(Северный государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации)

ДИНАМИКА ПРЕДСТАВЛЕНИЙ БУДУЩИХ ВРАЧЕЙ О ПРАВОВОМ И МЕДИЦИНСКОМ СТАТУСЕ НАРКОТИЧЕСКИХ АНАЛЬГЕТИКОВ И ВЛИЯНИЕ ЛИЧНЫХ ГЕДОНИСТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ВЫБОР ПОВЕДЕНЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ БОЛИ

Для оценки уровня терминологической грамотности и специфики поведенческих стратегий при возникновении физической боли проведено анкетирование 120 обучающихся медицинских вузов. Выявлена завышенная самооценка при объективном дефиците профильных знаний среди студентов младшего курса. Качественный анализ ошибочных суждений выпускников обнаружил устойчивость страхов перед возможностью формирования лекарственной зависимости при купировании физической боли у онкологических больных. Выбор личных поведенческих стратегий в ситуации возникновения физической боли обнаружил доминирование концепции комфорта над правовыми ограничениями.

Ключевые слова: обучающиеся, боль, обезболивание, анальгетики.

Kopytov A.A.

Yushmanova T.N.

DYNAMICS OF FUTURE DOCTORS' PERCEPTIONS OF THE LEGAL AND MEDICAL STATUS OF NARCOTIC ANALGESICS AND THE INFLUENCE OF PERSONAL HEDONISTIC ATTITUDES ON THE CHOICE OF BEHAVIORAL STRATEGIES IN THE EVENT OF PHYSICAL PAIN

To assess the level of terminological literacy and the specifics of behavioral strategies in the event of physical pain, a survey was conducted among 120 students of medical universities. An overestimation of self-assessment was revealed, along with an objective deficit of specialized knowledge among first-year students. A qualitative analysis of the erroneous judgments made by graduates revealed the persistence of fears regarding the possibility of developing drug dependence when managing physical pain in cancer patients. The choice of personal behavioral strategies in situations involving physical pain demonstrated the dominance of the concept of comfort over legal restrictions.

Keywords: students, pain, pain management, analgesics.

Актуальность темы

Распад СССР запустил масштабные трансформационные процессы не только в социально-экономической сфере бывших союзных республик, но и в структуре общественного сознания. Разрушение идеологического фундамента спровоцировало форсированный, ментальный переход

от философии социализма, базировавшейся на идеалах коллективизма, гражданского долга, к парадигме постиндустриального общества потребления [1].

Философия социализма провозглашала воспитание личности в категориях стоицизма и умения преодолевать изменения собственного состояния на фоне появившейся или продолжающейся боли. В мирной жизни боль или физические лишения рассматривались как норма, требующая стойкости, а не немедленного гедонистического устранения. Художественным подтверждением нормальности восприятия боли служит образ альпиниста, который в критический момент падения товарища со скалы преодолевая страдания «стонал, но держал» страховочный трос, демонстрируя способность терпеть физическую боль [2].

В военное время официальные и культурные установки восприятия боли становятся бескомпромиссными. Абсолютным проявлением выработанных ментальных ориентиров служат напутственные слова девушки, желавшей бойцу перед лицом опасности: «если смерти, то мгновенной, если раны, небольшой». Приведенные поэтические строки демонстрируют, что в ситуации экзистенциального риска общественное сознание ориентировало личность на принятие физической боли [3].

В европейской культуре до распространения философии потребления христианская традиция прививала человеку восприятие телесных мук в качестве сакрального блага и пути к духовному спасению [4, 7].

Философия потребления, утвердившаяся в общественном сознании россиян в конце XX века, девальвировала устои семейного и школьного воспитания.

Превалирование в информационно-коммуникативном пространстве потребительских ценностей изменило отношение к телесности, и толерантность к физической боли стала восприниматься не как проявление силы воли, а как ограничение личной свободы. Стремление оградить себя от физических страданий фокусирует человека на телесном комфорте, ускоряя атомизацию микросоциума в рамках концепции «формирования успешного потребителя», ориентированного на избавление от любого дискомфорта [5].

Философия потребления радикально трансформировала медико-социальное поведение человека, превратив здоровье и телесный комфорт в доминирующий рыночный продукт. Агрессивная экспансия фармацевтического маркетинга на постсоветском пространстве сформировала в обществе понимание возможности оперативного купирования физической боли [6].

Бытовой опыт, реклама и нормы законодательства закладывают противоречия в понимании студентами вопросов обезболивания, характер которых изменяется по мере приобретения профессиональных знаний.

Цель исследования

Проанализировать динамику конфликта между сформированными стереотипами в отношении применения анальгетиков и профессиональными знаниями, полученными будущими врачами при изучении клинических дисциплин.

Материалы и методы

Выборку составили 240 человек, обучающихся по специальности «Стоматология». В медицинском институте НИУ БелГУ опрошены 59 студентов третьего курса и 66 студентов пятого курса, а в Северном государственном медицинском университете – 61 третьекурсник и 54 пятикурсника. На основе образовательного уровня респонденты разделены на две группы по 120 человек каждая. Все студенты родились и получили среднее образование в РФ. Средний возраст обучающихся на 3 курсе составил $20,4 \pm 1,2$ года, а на 5 курсе достиг $22,5 \pm 1,3$ года.

Для проведения исследования разработана анкета. Первые два вопроса которой направлены на сбор демографических данных об обучающихся, а последующие определяли характер бытовых представлений о природе боли и специфику мнения будущих врачей о клиническом применении анальгетиков.

Методологический дизайн анкетирования конструировался на пересечении двух аналитических измерений. Декларируемое измерение: приглашая на анкетирование, студентам представили в качестве цели работы необходимость изучения двухлетней динамики профессиональных представлений о правилах конкурентного применения безрецептурных и наркотических анальгетиков. Латентное измерение: при организации опроса намеренно скрывались истинная задача, заключающаяся в верификации присутствия в информационно-коммуникативном пространстве элементов философии потребления в части их преобразующего влияния на аксиологические приоритеты молодежи. Предметный конфликт. Полученные данные позволили верифицировать интенсифицируемое в информационно-коммуникативном пространстве противостояние философии социализма и философии потребления. Особое внимание уделялось анализу вытеснения аксиологических приоритетов противостояния физической боли, исторически свойственных российской культуре, гедонистическими установками, в рамках которых комфорт выступает доминирующим регулятором поведения.

Результаты и обсуждение

На третий вопрос «Как вы оцениваете уровень своей осведомленности в разграничении понятий «анальгетик», «наркотический анальгетик» и «наркотик»? Среди студентов 3-го курса 78 человек (65,0%) указали, что полностью осведомлены, 42 (35,0%) человека, что частично. Среди студентов 5-го курса считают себя полностью осведомлёнными 120 человек (100%).

На четвертый вопрос «Какое из определений наиболее точно отражает юридический статус понятия «наркотическое средство» в РФ?» дали правильный ответ 69 третьекурсников (57,5%), в том числе только 37 студентов (47,4%), считавших уровень своей осведомленности в терминологии обезболивающих препаратов полным, тогда как среди студентов пятого курса верное представление продемонстрировали 107 человек (89,2%). Анализ соотношения субъективной оценки респондентов и объективного уровня их знаний выявил когнитивный диссонанс. Группа с умеренной самооценкой продемонстрировала более высокую концентрацию правильных ответов, поскольку среди студентов, оценивших свою осведомленность как «частичную» (35,0% выборки третьего курса), доля ошибочных суждений на профильный вопрос составила всего 23,8%. Напротив, в группе респондентов с максимальной самооценкой, заявлявших о «полной» осведомленности (65,0% выборки третьего курса), удельный вес неверных ответов оказался более чем в два раза выше, достигнув 52,6%. Полученные данные иллюстрируют феномен ложной уверенности, когда заявляющие о безупречном знании терминологии студенты склонны опираться на бытовые стереотипы. Среди выпускников пятого курса зафиксирована иная тенденция, при стопроцентной субъективной уверенности в собственных знаниях удельный вес неверных ответов на контрольный вопрос составил 10,8%, что свидетельствует о частичном преодолении когнитивного диссонанса и формировании профессиональной компетентности к окончанию обучения. Выявленные пропорции подтверждают успешное разрешение ценностного конфликта между бытовым восприятием правового статуса наркотических средств и их официальной законодательной регламентацией, демонстрируя не абсолютную, но объективно высокую готовность выпускников к профессиональной деятельности.

На пятый вопрос «В чем, по вашему мнению, заключается главное различие между ненаркотическим анальгетиком (ибупрофен) и наркотическим анальгетиком (трамадол)?» дали правильный ответ 86 третьекурсников (71,7%), определив различие в возможности наркотического анальгетика блокировать боль напрямую, воздействуя на структуры головного мозга, тогда как большинство респондентов, ответивших неверно (23 человека, 19,2%), нашли разницу между препаратами в их форме выпуска, подразумевающей возможность применять таблетированный анальгетик в домашних условиях, а наркотическое ампулированное средство, как правило, в условиях медицинской организации. Подавляющее большинство студентов пятого курса

(111 человек, 92,5%) определило верный вариант, указав на различия в центральном и периферическом механизмах действия анальгетиков.

На шестой вопрос «Больной с хроническим заболеванием сознательно отказывается от приема любых назначенных врачом обезболивающих препаратов, заявляя, «Я буду терпеть боль до последнего, чтобы мой организм не привыкал к химии и не развилась зависимость». Как вы оцените решение с точки зрения современной медицины?». Правильный ответ, осуждающий деструктивный стоицизм пациента, дали 78 третьекурсников (65,0%) и 88 выпускников пятого курса (73,3%). Среди третьекурсников наиболее частый неправильный ответ (21 человек, 17,5%) заключался в солидарности с мнением о неизбежном развитии привыкания к медикаментам при приеме любых анальгетиков.

В группе выпускников поддержали ошибочное мнение третьекурсников 12 человек (10,0%), а 11 респондентов (9,2%) сочли отказ от обезболивания не имеющим значения по причине убежденности в том, что боль определяет исключительно психологическое состояние больного и не влияет на соматический статус. Методологический интерес представляют результаты ответов на шестой вопрос, оценивающий отношение респондентов к феномену сознательного терпения боли пациентами. Динамика правильных суждений от младшего курса к старшему демонстрирует приращение грамотности будущих врачей, преодолевающих деструктивный бытовой стоицизм. При этом структура неверных ответов обнажила дефекты понимания клинических рисков. Если среди третьекурсников массовое заблуждение (17,5%) оказалось во власти мифа о неизбежном привыкании к медикаментам при приеме любых анальгетиков, то ошибившиеся выпускники разделились на две категории. Доля лиц, оставшихся в плену обывательского страха перед лекарственной зависимостью, снизилась на пятом курсе до 10,0%, однако 9,2% старшекурсников продемонстрировали теоретическую ошибку, отрицая влияние хронической боли на соматический статус. Выявленные пропорции иллюстрируют незавершенность формирования профессионального мышления у части выпускников, склонных недооценивать физиологическое влияние боли на организм человека.

Седьмой вопрос сформулирован следующим образом: «Считаете ли вы клинически оправданным занижение эффективной дозы наркотических анальгетиков больному с онкологическим заболеванием, сопровождающимся болью из-за опасения развития лекарственной зависимости?». Среди студентов третьего курса ответили верно и сочли занижение дозы препарата неоправданным 82 респондента (68,3%), тогда как 22 человека (18,3%) посчитали подобные действия оправданными по причине убежденности в том, что предупреждение ятрогенной лекарственной зависимости входит в перечень деонтологических обязанностей врача, а 15 обучающихся (12,5%) признали занижение дозы допустимым ради временного пролонгирования эффекта обезболивания за счет назначения нейролептиков или седативных средств. В группе выпускников верный ответ дал 101 человек (84,2%), при этом 10 респондентов (8,3%), продемонстрировавших при ответе на шестой вопрос ошибочные представления о неизбежном привыкании к медикаментам, перенесли стереотипное суждение на клиническую ситуацию и сочли занижение эффективной дозы оправданным ради предупреждения лекарственной зависимости. Полученные результаты выявили специфику восприятия наркотических анальгетиков, масштабы ошибочных суждений, количество которых снижаются по мере обучения, но полностью не исчезают к окончанию медицинского института. Высокая частота некорректных ответов на младшем курсе (суммарно 30,8%) обусловлена отсутствием четких представлений о клинических протоколах, что заставляет студентов маскировать обывательский страх перед наркотическими веществами ложно понятыми деонтологическими обязанностями. Воспроизведение обывательского стереотипа частью выпускников (8,3%) при ответе на шестой и седьмой вопросы доказывает устойчивость ложных паттернов, сохраняющихся вопреки транслируемым в процессе обучения академическим знаниям.

При анализе ответов на восьмой вопрос «Какую стратегию поведения Вы выберете в ситуации возникновения физической боли, вызванной травмой или заболеванием?» первый вариант, предполагающий отказ от медикаментов ради предотвращения вредного химического воздействия на организм, предпочли 17 третьекурсников (14,2%) и 11 выпускников (9,2%). Второй вариант, с применением исключительно безрецептурных анальгетиков из-за страха развития зависимости, назвали адекватным 28 студентов третьего курса (23,3%) и 12 респондентов пятого курса (10,0%). Третий вариант, допускающий прием наркотических анальгетиков ради скорейшего возвращения к состоянию физического комфорта, одобрили 59 третьекурсников (49,2%) и 88 выпускников (73,3%). Четвертый вариант, допускающий приобретение наркотических средств незаконным путем, допустили 16 студентов младшего курса (13,3%) и 9 обучающихся старшего курса (7,5%).

Оценка результатов ответов на восьмой вопрос позволяет сделать достаточно интересные заключения в отношении роли обучения (варианты 1 и 2). При сопоставлении поведенческих стратегий обнаруживается значительный прогресс в преодолении иррациональных страхов, выражающийся в снижении доли обывательских стереотипов по мере накопления академических знаний. Доля студентов, находящихся под влиянием стереотипов («терпеть до последнего» и «бояться зависимости от таблеток»), падает с 37,5% (на третьем курсе) до 19,2% – на пятом курсе.

В отношении сохранения значимости гедонизма (варианты 3 и 4). Переход гипотетической ситуации в плоскость индивидуального выбора при возникновении боли фиксирует доминирование гедонистических установок, поскольку суммарно 62,5% третьекурсников и 80,8% выпускников заявляют о готовности приобретать и потреблять наркотические средства легальным или незаконным путем ради скорейшего возвращения к состоянию комфорта. Рост доли старшекурсников, поддерживающих эту стратегию, демонстрирует неспособность академических знаний усилить правосознание, поскольку усвоение клиничко-фармакологической информации лишь вооружает личные эгоцентрические приоритеты пониманием высокой клинической эффективности сильнодействующих веществ. Выявленный уровень правового нигилизма среди 13,3% студентов младшего курса и 7,5% выпускников выступает индикатором девальвации деонтологических барьеров перед вероятной физической болью, полностью подчиняющей поведение будущих врачей императиву личного комфорта.

Заключение

Исторический слом ценностных приоритетов на постсоветском пространстве запустил глубокую трансформацию общественного сознания, радикально изменившую отношение человека к телесности. На смену культуре стоицизма, укорененной в секулярной советской морали, где способность преодолевать физическую боль признавалась показателем силы воли и необходимым фактором сохранения эффективности, пришла постиндустриальная парадигма общества потребления. Ценностный сдвиг переформатировал механизмы семейного и школьного воспитания, превратив толерантность к физической боли из проявления жизненной стойкости в бессмысленное ограничение личной свободы. Агрессивное воздействие фармацевтического маркетинга и медийных нарративов сформировало культ непрерывного соматического благополучия, снижающий готовность личности к преодолению трудностей ради достижения нетривиальных жизненных целей и ориентирующий человека на немедленное устранение боли с помощью доступных анальгетиков.

Результаты исследования обнажили внутреннее противоречие профессионального мышления будущих врачей, вынужденных сохранять унаследованные культурные барьеры в условиях давления со стороны средств массовой коммуникации, превращающих молодежь в маркетинговые мишени для навязывания гедонистических стандартов общества потребления. Проявление этого противоречия заключается в двойственности поведенческих стратегий будущего врача, в зависимости от того, выступает ли человек субъектом оценки чужой боли или объектом

собственного соматического дискомфорта. В роли субъекта при оценке тактики ведения абстрактного онкологического больного выпускники преимущественно опираются на академические знания, демонстрируя профессиональную зрелость, однако полной солидарности в осуждении неоправданного занижения доз наркотических анальгетиков выборка не обнаруживает. Однако при смещении аналитического фокуса в плоскость личного выбора и переходе будущего врача в роль объекта, гипотетически испытывающего физическую боль, поведенческие приоритеты меняются коренным образом. При возникновении угрозы личному соматическому благополучию профессиональные ориентиры и деонтологические принципы студентов нивелируются, полностью уступая место утилитарному прагматизму. Выявленная готовность большинства опрошенных одобрять бесконтрольный прием наркотических анальгетиков ради сохранения личного комфорта, включая приобретение препаратов незаконным путем, обнажает глубокий правовой нигилизм будущих специалистов.

Обучение в медицинском вузе успешно разрушает бытовые страхи перед лекарственной зависимостью у больных, но оказывается бессильно перед императивом индивидуального гедонизма самих будущих врачей. Более того, накопленная клинико-фармакологическая информация обуславливает в понимании выпускников целесообразность применения наркотических анальгетиков, выступая внутренним обоснованием для обхода правовых ограничений.

Характер обнаруженной уязвимости профессионального сознания перед философией потребления показывает необходимость возвращения к ценностным основаниям философии социализма, восстанавливающей в структуре мировоззрения врача восприятие физической боли, как неотъемлемой части бытия и проверки личностной стойкости. Реализация намеченных изменений требует поддержки за счет модернизации деонтологической подготовки и усиления правового воспитания в системе высшего медицинского образования через расширение профильных дисциплин.

Выводы

1. Медицинская вузовская подготовка демонстрирует высокую эффективность в преодолении бытовых страхов и стереотипов, касающихся применения наркотических анальгетиков, обеспечивая к выпускному курсу значительный прирост академических знаний о механизмах блокирования боли.

2. На начальном этапе становления клинического мышления у студентов третьего курса выявлен феномен ложной уверенности в безупречности терминологических представлений о проблемах, связанных с легальным оборотом наркотических анальгетиков, обусловленный спецификой образовательной программы и выражающийся в завышенной субъективной самооценке при объективно низком уровне реальных знаний.

3. Анализ ошибочных суждений обучающихся обнаруживает наличие страха перед формированием лекарственной зависимости у онкологических больных, испытывающих хроническую боль.

4. Выбор личных поведенческих стратегий будущих врачей в ситуации возникновения физической боли обнажает доминирование гедонизма над правосознанием, так как деонтологические барьеры уступают место готовности к бесконтрольному потреблению наркотических анальгетиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Толок Е.С.* Трансформация социокультурных ценностей российского общества: философский анализ / Е.С. Толок // Социально-гуманитарные знания. 2026. № 2. – С. 416–418. – EDN WVPROG.
2. *Высоцкий В.С.* Песня о друге. [Электронный ресурс]: Текст стихотворения // Портал Культура.РФ. – URL: <https://www.culture.ru/poems/19756/pesnya-o-druge> (Дата обращения 19.06.2025).

3. *Исаковский М.В.* Прощание [Электронный ресурс]: Текст стихотворения // Портал Культура.РФ. – URL: <https://www.culture.ru/poems/36493/proshanie> (дата обращения: 19.06.2025).
4. *Борсяков Ю.И.* Культура духа и тела в истории мировой философии / Ю.И. Борсяков, С.В. Никишин, В.В. Лактионов // Культура физическая и здоровье. 2019. № 3 (71). – С. 3–9. – EDN IETIИ.
5. *Deggau H.-G.* Das Opfer in der modernen Gesellschaft // Merkur. Jg. 63. Nr. 11. Heft 726. 2009. S. 1082–1085
6. *Хайдарова Г.Р.* Феномен боли в культуре. – СПб.: Издательство Русской христианской гуманитарной академии, 2013. – 317 с. ISBN 978-5-88812-551-9
7. Повествование о Страстях Христовых (Евангелие от Матфея, главы 26, 27; Евангелие от Марка, главы 14, 15; Евангелие от Луки, главы 22, 23; Евангелие от Иоанна, главы 18, 19) // Библия. Книги Священного Писания Ветхого и Нового Завета. – М.: Издательство Московской патриархии Русской православной церкви, 2020. С. 1051, 1056, 1079, 1083, 1122, 1127, 1155, 1159.
8. *Копытов А.А.* Технологизация управления информационно-коммуникативным пространством российского вуза как фактор повышения уровня конкурентоспособности: специальность 22.00.08 «Социология управления»: диссертация на соискание ученой степени кандидата социологических наук / Копытов Александр Александрович. – Орел, 2014. – 180 с. – EDN WBSWBR.

Фармацевтическая химия, фармакогнозия

Козлова Ж.М., кандидат фармацевтических наук, доцент

Безниско К.Е., аспирант

Козлова А.М.

Глазков А.О., аспирант

Соловьева Н.Л., кандидат фармацевтических наук, доцент

Одинцова Е.Б., аспирант

Краснюк И.И., доктор фармацевтических наук, профессор, зав. кафедрой (Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет))

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАРОК МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА НАПОЛНИТЕЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ

Выбор наполнителя является основным и критическим этапом разработки твёрдых лекарственных форм. Микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) наиболее востребована как наполнитель, имеет широкий ассортимент марок с различными технологическими характеристикам. Экспертная система SeDeM позволяет количественно оценить не только активные фармацевтические вещества, но и наполнители по комплексу технологических параметров для объективного ранжирования на этапе преформуляционных исследований. В данной работе проведен сравнительный анализ десяти марок МКЦ (101, 102, 103, 105, 112, 113, 200, 212, 301, 302) с использованием методологии SeDeM для выявления наиболее технологически сбалансированных наполнителей.

Ключевые слова: SeDeM-анализ, индекс хорошего прессования, технологические свойства, микрокристаллическая целлюлоза.

Kozlova Zh.M.

Beznisko K.E.

Kozlova A.M.

Glazkov A.O.

Solovyova N.L.

Odintsova E.B.

Krasnyuk I.I.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROCRYSTALLINE CELLULOSE GRADES FOR OPTIMIZING THE CHOICE OF FILLER IN DIRECT COMPRESSION TECHNOLOGY

The choice of filler is a key and critical stage in the development of solid dosage forms. Microcrystalline cellulose (MCC) is the most commonly used filler and has a wide range of grades with different technological characteristics. The SeDeM expert system allows for a quantitative assessment not only of active pharmaceutical substances but also of fillers based on a set of technological parameters for objective ranking at the stage of preformulation studies. This study conducts a comparative analysis of ten grades of microcrystalline

cellulose (101, 102, 103, 105, 112, 113, 200, 212, 301, 302) using the SeDeM methodology to identify the most technologically balanced fillers.

Keywords: SeDeM analysis, good compaction index, technological properties, microcrystalline cellulose.

Введение

Выбор вспомогательных веществ является одним из ключевых этапов разработки твёрдых лекарственных форм (ТЛФ). Наполнители, составляющие основную массу таблеток, определяют не только физико-механические свойства готового продукта, но и технологические параметры процесса производства [1, 2]. Микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) является одним из наиболее универсальных и широко применяемых наполнителей в производстве ТЛФ. Благодаря своей пластичности, инертности и способности к деформации под давлением, МКЦ обеспечивает хорошую прессуемость таблеток, а также их стабильность в процессе хранения [1, 2]. На рынке представлены различные марки МКЦ, отличающиеся по размеру частиц, степени влажности, плотности и другим характеристикам, которые влияют на их технологические свойства [3].

Традиционный подход к выбору наполнителя, основанный на эмпирическом подборе и последовательном тестировании, является трудоёмким и не всегда позволяет объективно сравнивать различные материалы. В этой связи особую актуальность приобретают инструменты преформуляционного анализа, позволяющие количественно оценить и ранжировать технологическую пригодность как активных фармацевтических субстанций, так и вспомогательных веществ [4]. Одним из таких инструментов является экспертная система SeDeM (Sediment Delivery Model) [5, 6].

Методология SeDeM базируется на анализе стандартизированных параметров, отражающих объёмные характеристики, прессуемость, сыпучесть, стабильность и однородность порошков [7, 8].

Целью настоящего исследования сравнительный анализ марок МКЦ с использованием SeDeM для создания их ранжированного списка с оптимальным сочетанием технологических характеристик для разработки твёрдых лекарственных форм.

Материалы и методы.

В работе изучены десять марок микрокристаллической целлюлозы: МКЦ 101, 102, 103, 105, 112, 113, 200, 212, 301 и 302.

Расчётные формулы для пересчёта экспериментальных значений в радиусы SeDeM представлены в таблице 1.

Таблица 1

Формулы пересчёта значений в радиусы SeDeM

Параметр	Обозначение	Формула пересчёта
Насыпная плотность	Da	$10 \times V$
Плотность после уплотнения	Dc	$10 \times V$
Межчастичная пористость	Ie	$10 \times V / 1,2$
Индекс Карра	IC	$V / 5$
Прессуемость	Icd	$V / 20$
Отношение Хауснера	ИН	$(30 - 10 \times V) / 2$
Угол естественного откоса	α	$10 - (V / 10)$
Влажность	LoD	$10 - V$
Гигроскопичность	H	$10 - (V / 2)$

На основе полученных радиусов SeDeM вычислены интегральные индексы:

Индекс параметрического профиля (**IPP**) – средняя арифметическая величина всех радиусов.

Параметрический индекс (**IP**) – доля показателей с радиусом ≥ 5 .

Индекс хорошего прессования (**IGC**) = $IPP \times 0,92$ (коэффициент для 9 параметров).

Критерием пригодности к прямому прессованию служит значение $IGC \geq 5,0$.

Все эксперименты выполнены с трёхкратной повторностью, в расчётах использованы усреднённые величины.

Результаты и обсуждение

На основании экспериментальных данных рассчитаны технологические параметры, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Технологические параметры марок МКЦ (средние значения $\pm SN$, $n = 3$)

Марка	Da, г/мл	Dc, г/мл	Ie	IC, %	Icd, Н	ИH	α , °	LoD, %	H, %
101	0,30	0,47	1,206	36,17	1,525	1,567	22,5	4,0	5,1
102	0,315	0,50	1,175	37,00	1,494	1,587	45	4,0	5,4
103	0,30	0,47	1,206	36,17	1,535	1,567	24	2,0	5,2
105	0,40	0,52	0,577	23,08	1,462	1,300	45	3,0	6,0
112	0,325	0,45	0,855	27,78	1,533	1,385	30	0,75	7,5
113	0,30	0,47	1,206	36,17	1,565	1,567	35	1,0	5,7
200	0,33	0,53	1,144	37,74	1,478	1,606	45	4,0	5,5
212	0,37	0,55	0,885	32,73	1,488	1,486	40	4,0	5,7
301	0,395	0,47	0,404	15,96	1,524	1,190	35	4,0	5,5
302	0,405	0,48	0,386	15,63	1,514	1,185	30	4,0	5,3

Преобразование технологических параметров, представленных в таблице 2 в радиусы SeDeM представлены в таблице 3. Значения радиуса менее 5 указывают на неудовлетворительное состояние соответствующего показателя.

Таблица 3

Радиусы SeDeM для марок МКЦ ($n = 3$)

Марка	Da	Dc	Ie	IC	Icd	ИH	α	LoD	H	Σr
101	3,0	4,7	10,0	7,23	0,076	7,17	7,75	6,0	7,45	53,38
102	3,15	5,0	9,79	7,40	0,075	7,06	5,50	6,0	7,30	51,28
103	3,0	4,7	10,0	7,23	0,077	7,17	7,60	8,0	7,40	55,18
105	4,0	5,2	4,81	4,62	0,073	8,50	5,50	7,0	7,00	46,70
112	3,25	4,5	7,12	5,56	0,077	8,08	7,00	9,25	6,25	51,08
113	3,0	4,7	10,0	7,23	0,078	7,17	6,50	9,0	7,15	54,83
200	3,3	5,3	9,53	7,55	0,074	6,97	5,50	6,0	7,25	51,47
212	3,7	5,5	7,37	6,55	0,074	7,57	6,00	6,0	7,15	49,91

Марка	Da	Dc	Ie	IC	Icd	ИН	α	LoD	H	Σr
301	3,95	4,7	3,37	3,19	0,076	9,05	6,50	6,0	7,25	44,08
302	4,05	4,8	3,22	3,13	0,076	9,07	7,00	6,0	7,35	44,69

Расчёт интегральных индексов представлен в таблице 4. Ранжирование проведено по убыванию индекс хорошего прессования (IGC). Согласно критериям SeDeM, значение $IGC \geq 5,0$ свидетельствует о пригодности материала для прямого прессования без существенной модификации состава.

Таблица 4

Интегральные индексы и ранжирование марок МКЦ

Марка	IPP	IP	IGC	Место
103	6,13	0,67	5,64	1
113	6,09	0,78	5,60	2
101	5,93	0,67	5,46	3
200	5,72	0,56	5,26	4
102	5,70	0,56	5,24	5
112	5,68	0,67	5,22	6
212	5,55	0,44	5,10	7
105	5,19	0,44	4,77	8
302	4,97	0,33	4,57	9
301	4,90	0,33	4,51	10

Как видно из таблицы 4, диапазон значений IGC составляет от 4,51 до 5,64, что отражает существенные различия в технологических характеристиках исследованных марок МКЦ. Наилучшие показатели IGC у МКЦ-103 ($IGC = 5,64$). Данная марка также характеризуется низким содержанием влаги (1–3%), высокой прессуемостью ($Icd = 1,535$) и малым углом естественного откоса (24°), что обеспечивает ей отличную сыпучесть. Индекс IGC для МКЦ-113 ($IGC = 5,60$) практически не уступает IGC МКЦ-103. Однако следует отметить, что МКЦ-113 отличается более низкой влажностью (0–2%). Эта особенность позволяет рекомендовать МКЦ-113 для прессования субстанций, чувствительными к действию влаги.

МКЦ-101 ($IGC = 5,46$) марка с хорошим балансом всех показателей. Несмотря на несколько меньшую плотность, она обеспечивает стабильную прессуемость, что подтверждается широким применением в фармацевтической промышленности.

IGC марок МКЦ 102, 112, 200 и 212 превышают пороговый уровень IGC (5,0–5,3). Следует отметить, что марка МКЦ-112, которая при $IGC = 5,22$ демонстрирует минимальное содержание влаги ($\leq 1,5\%$), делает её оптимальным выбором для составов, критичных к влажности.

Марки МКЦ 105, 301 и 302 имеют IGC ниже 5,0 (4,77; 4,51 и 4,57 соответственно). Недостаточная пористость ($Ie < 0,6$) и низкие значения индекса Карра ($IC < 25\%$) указывает на ограниченную способность к уплотнению. Для использования этих марок требуется введение дополнительных наполнителей или применение метода грануляции в технологическом процессе получения таблеток.

МКЦ 301 и 302 ожидаемо показали наихудшие результаты, поскольку имеют степень полимеризации (130–180), которая значительно ниже степени полимеризации остальных марок МКЦ.

Выводы

Результаты проведённого исследования показали, что применение экспертной системы SeDeM позволяет существенно сократить время и затраты на этапе преформуляционных исследований, обеспечивая объективное ранжирование веществ, в данном исследовании наполнителей, по комплексу технологических показателей. На основании полученных данных рекомендуется использовать МКЦ-103, 113, 101, 102, 112, 200 и 212 в качестве наполнителей для прямого прессования, а МКЦ 105, 301 и 302 требуют дополнительных технологических приёмов. Полученные результаты согласуются с известными литературными данными о технологических свойствах различных марок МКЦ и подтверждают целесообразность применения SeDeM-анализа для обоснованного выбора наполнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Jivraj M., Martini L.G., Thomson C.M.* An overview of the different excipients useful for the direct compression of tablets // *Pharmaceutical Science & Technology Today*, 2000; 3 (2): 58–63. doi 10.1016/S1461-5347(99)00237-0
2. *Prajwal K., Parthasarathi K. Kulkarni, Nagendra R., Venkatesh K., Hanumanthachar Joshi.* Co-Processed Excipients: A Review / *International Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2024, 2 (2), 154–163. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10628391>
3. *Nofreries I., Nardi A., Suñé-Pou M.* et al. Comparison between microcrystalline celluloses of different grades made by four manufacturers using the SeDeM diagram expert system as a pharmaceutical characterization tool // *Powder Technol.* 2019; 342: 780–788. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.10.048.
4. *Охотникова Ю.М., Соловьева Н.Л., Сысуев Б.Б., Краснюк И.И., Козлова Ж.М.* Изучение технологических и физико-химических свойств доксемина гидрохлорида // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2025; 14 (2): 106–111. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-2-1880>
5. *Aguilar-Díaz J.E., García-Montoya E., Pérez-Lozano P., Suñe-Negre J.M., Miñarro M., Ticó J.R.* The use of the SeDeM Diagram expert system to determine the suitability of diluents–disintegrants for direct compression and their use in formulation of ODT // *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 2009, 73, 414–423, <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2009.07.001>.
6. *Rao M.R.P., Sapate S., Sonawane A.* Pharmacotechnical Evaluation by SeDeM Expert System to Develop Orodispersible Tablets // *AAPS PharmSciTech* 23, 133 (2022). <https://doi.org/10.1208/s12249-022-02285-x>
7. *Aguilar-Díaz J.E., García-Montoya E.* et al. SeDeM expert system a new innovator tool to develop pharmaceutical forms // *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 2013, 40 (2), 222–236. DOI: 10.3109/03639045.2012.756007.
8. *Trisopon K., Kittipongpatana N., Wattanaarsakit P., Kittipongpatana O.S.* Formulation Study of a Co-Processed, Rice Starch-Based, All-in-One Excipient for Direct Compression Using the SeDeM-ODT Expert System // *Pharmaceuticals*. 2021, 14 (10), 1047. DOI: 10.3390/ph14101047.

Общее земледелие и растениеводство

Якименко М.В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Татаренко И.Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Сорокина А.И., кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

Гутор Я.С., младший научный сотрудник

Якименко Т.А.

(Федеральный научный центр
«Всероссийский научно-исследовательский институт сои»)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.09

ФОРМИРОВАНИЕ СИМБИОТИЧЕСКОГО АППАРАТА У СОИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРИМЕНЕНИИ *BRADYRHIZOBIUM ELKANII* И ПРОТРАВИТЕЛЕЙ

В лабораторных экспериментах 2025 г. изучено влияние действующих веществ протравителей семян Имидаклоприда, Имазалила в концентрациях, соответствующих производственным дозам препаратов Имидор Про, Бенефис на вирулентность и клубенькообразование чистых культур ризобий при совместном применении для предпосевной обработки семян сои сорта Хабаровская 4. В работе использованы коллекционные штаммы *Bradyrhizobium elkanii* (Kuykendall et al., 1992), селекции ФГБНУ ФНИЦ ВНИИ сои. Установлено, что большинство изучаемых штаммов *Bradyrhizobium elkanii* при совместном применении с химическими веществами Имидаклоприд, Имазалил, продемонстрировали не только толерантность к тестируемым веществам, но и положительную реакцию на совмещение. Так, при использовании Имидаклоприда количество клубеньков, в среднем на одно растение, возросло на 59%, при использовании Имазалила – на 47,5%, в варианте со штаммом Мд-0 показатель клубенькообразования вырос в 14 раз; показатели вирулентности увеличились на 5% и 13% соответственно, по сравнению с контролем. Наиболее выраженный стимулирующий эффект действующих веществ Имидаклоприд, Имазалил отмечен в вариантах со штаммами *B. elkanii* ФЗ-1, Ву-11, Мд-0, Мд-5. Полученные данные свидетельствуют о высоком адаптивном потенциале *B. elkanii* и открывают перспективы для создания комбинированных препаратов, сочетающих химическую защиту и биологическую азотфиксацию.

Ключевые слова: соя, *Bradyrhizobium elkanii*, клубенькообразование, вирулентность, имидаклоприд, имазалил, инокуляция, действующие вещества, протравители семян.

Yakimenko M.V.

Tatarenko I.Yu.

Sorokina A.I.

Gutor Ya.S.

Yakimenko T.A.

FORMATION OF A SYMBIOTIC APPARATUS IN SOYBEANS WITH THE COMBINED USE OF *BRADYRHIZOBIUM ELKANII* AND SEED TREATMENTS

In laboratory experiments conducted in 2025, the effect of the active substances in seed treatment agents – imidacloprid and imazalil – was studied at concentrations corresponding to the industrial doses of the Imidor Pro and Benefis preparations, on the virulence and nodule formation of pure rhizobia cultures when used in

combination for pre-sowing treatment of seeds of the Khabarovskaya 4 soybean variety. The study used collection strains of *Bradyrhizobium elkanii* (Kuykendall et al., 1992) selected by the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center All-Russian Research Institute of Soybean. It has been established that most of the studied strains of *Bradyrhizobium elkanii*, when used in combination with the chemicals Imidacloprid and Imazalil, demonstrated not only tolerance to the tested substances but also a positive response to the combination. Thus, when using Imidacloprid, the number of nodules per plant increased by an average of 59%; when using Imazalil, it increased by 47.5%; in the variant with the Md-0 strain, the nodule formation rate increased 14-fold; the virulence indicators increased by 5% and 13%, respectively, compared to the control. The most pronounced stimulating effect of the active substances Imidacloprid and Imazalil was observed in the variants with the *B. elkanii* strains FZ-1, Vu-11, Md-0, and Md-5. The obtained data indicate the high adaptive potential of *B. elkanii* and open up prospects for creating combined preparations that combine chemical protection and biological nitrogen fixation.

Keywords: soybean, *Bradyrhizobium elkanii*, nodulation, virulence, imidacloprid, imazalil, inoculation, active substances, seed protectants.

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) остаётся одной из ключевых белково-масличных культур мирового и российского земледелия. В Дальневосточном регионе России, который обеспечивает более 40% общероссийского производства сои, эта культура играет стратегическую роль в обеспечении продовольственной безопасности и развитии экспортного потенциала [1, 12, 16]. Важнейшим биологическим фактором, определяющим продуктивность сои, является её способность в симбиозе с клубеньковыми бактериями родов *Bradyrhizobium* и *Sinorhizobium* фиксировать атмосферный азот. Эффективность данного симбиоза может обеспечивать до 90% потребности растений в азоте, существенно снижая зависимость от минеральных азотных удобрений и способствуя биологизации земледелия [5, 6, 8].

В последние десятилетия в технологии возделывания сои наблюдается устойчивая тенденция к интенсификации, которая сопровождается значительным расширением применения химических средств защиты растений (СЗР) [3, 7]. Протравливание семян стало практически обязательным приёмом в условиях Дальнего Востока, где посевы сои часто поражаются фитопатогенами и подвергаются повреждению почвообитающими вредителями [4, 14].

Наиболее широко применяемыми действующими веществами протравителей остаются неоникотиноидные инсектициды (в частности, имидаклоприд) и имидазольные фунгициды (в частности, имазалил), которые эффективно подавляют ранние инфекции и обеспечивают высокую полевую всхожесть [7, 10]. Однако одновременное (или последовательное в одной технологической операции) применение химических протравителей и ризобияльных инокулянтов создаёт серьёзную проблему: многие действующие вещества пестицидов обладают выраженной токсичностью по отношению к клубеньковым бактериям, особенно на стадии адгезии, инфекции корневых волосков и формирования симбиотических структур [7, 16]. В то же время в полевых условиях негативный эффект часто оказывается менее выраженным или варьирует в широких пределах в зависимости от типа почвы, штамма ризобий, дозы препарата, способа обработки и экологических условий [15, 17]. В России и странах СНГ регламенты совместного применения инокулянтов и протравителей семян сои до сих пор разработаны недостаточно полно [9, 13]. В то же время мировой и отечественный опыт показывает, что подбор штаммов ризобий, обладающих повышенной устойчивостью к конкретным пестицидам, позволяет значительно снизить негативное влияние химической защиты и сохранить высокую эффективность биологической азотфиксации [10, 11]. Особую актуальность в этой связи приобретает изучение дальневосточных природных популяций клубеньковых бактерий сои характеризующихся значительным разнообразием свойств, в том числе толерантностью к антропогенным факторам, включая пестициды.

Таким образом, противоречие между необходимостью химической защиты семян сои и сохранением эффективности симбиотической азотфиксации требует углублённого изучения

характера взаимодействия конкретных действующих веществ протравителей с различными штаммами ризобий. Полученные данные могут послужить научной основой для создания новых регламентов предпосевной обработки семян и целенаправленного отбора резистентных штаммов для производства микробиологических препаратов нового поколения.

Цель исследований

Оценить влияние рекомендуемых концентраций имидаклоприда и имазалила на вирулентность и клубенькообразование коллекционных штаммов *B. elkanii* на сое сорта Хабаровская 4.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2025 г. в лаборатории биологических исследований ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои.

Объектами исследований служили коллекционные штаммы *Bradyrhizobium elkanii* 11554, ФЗ-1, Ву-11, Ву-23, Ву-25, Мд-0, Мд-5, выделенные из природных популяций Дальнего Востока. В качестве растения-хозяина использовали сорт сои Хабаровская 4, характеризующийся наиболее высоким и стабильным клубенькообразованием среди испытанных сортов отечественной и зарубежной селекции [1]

Действующие вещества современных протравителей: Имидаклоприд (500 г/т), Имазалил (50 г/т) в рекомендованных производственных дозах (соответствующих препаратам Имидор Про, Бенефис, Депозит).

Лабораторные микробиологические эксперименты, выполняли в соответствии с общепринятыми методами [2, 12]. Влияние химических веществ Имидаклоприд, Имазалил на формирование симбиотического аппарата сои определяли по методике Бегуна С.А. [2]. Растения сои выращивали в пробирках диаметром 20 и высотой 200 мм с фильтровальной бумагой, на питательной среде следующего состава, г/л: K_2HPO_4 – 1,0; $MgSO_4$ – 1,0; $CaSO_4$ – 0,5; $FeSO_4$, H_3BO_3 , $MnSO_4$ и $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ – следы. Пробирки расставляли в специальные планшеты из чёрной полиэтиленовой пленки. Семена сои, тщательно отобранные, помещали в делительную воронку и стерилизовали концентрированной серной кислотой 2 минуты, а затем промывали большим количеством (1,5–2 л) стерильной воды. Стерильные семена высаживали в подготовленные пробирки и обрабатывали суспензией изучаемых штаммов и тестируемых химикатов из расчета 100 тыс. КОЕ ризобий + 0,092 мг Имидаклоприда или 0,0092 мг Имазалила на 1 семя. На каждый испытываемый штамм использовали по 10 пробирок. Через 25–30 суток после закладки опытов учитывали количество клубеньков на корнях каждого растения сои. По количеству клубеньков судили об интенсивности клубенькообразования, по наличию их на корнях сои определяли вирулентность изучаемых штаммов. В качестве контроля использовали вариант с бактеризацией семян штаммом ризобий, без использования протравителя.

Статистическая обработка результатов проведена с использованием пакетов программ MS Excel 16, Statistica 10.0.

Результаты

Вирулентность штаммов *B. elkanii* в контроле составляла 30–100%, при высокой изменчивости этого показателя ($C_v = 43,4\%$). Использование препаратов по-разному повлияло на этот показатель (рисунок 1). Одновременная обработка семян сои типовым штаммом *B. elkanii* 11554 и Имидаклопридом не повлияла на показатель вирулентности, Имазалилом – привела к снижению показателя вирулентности штамма на 10%. Совместная обработка семян сои штаммами *B. elkanii* ФЗ-1, Ву-11, Мд-0 и тестируемыми химическими веществами обеспечила повышение показателей вирулентности штаммов.

Совмещение штамма *B. elkanii* Ву-25 с Имидаклопридом привело к снижению показателя вирулентности, с препаратом Имазалил – увеличению показателя вирулентности на 10%. Отмечено увеличение показателей клубенькообразования аборигенных штаммов *B. elkanii* ФЗ-1, Ву-11, Мд-0, Мд-5 в результате применения химических веществ. Типовой штамм *B. elkanii*

11554, отреагировал на совмещение при предпосевной обработке семян с Имидаклопридом увеличением количества клубеньков на корнях сои, с Имазалилом – уменьшением их количества. Изменчивость показателей вирулентности изучаемых штаммов *B. elkanii* в вариантах с препаратом Имидаклоприд была на уровне контроля и составила $C_v = 40,2\%$, в вариантах с Имазалилом была невысокой ($C_v = 29,7\%$). Изменчивость показателя клубенькообразования штаммов *B. elkanii* колебалась в более широких пределах (таблица 1).

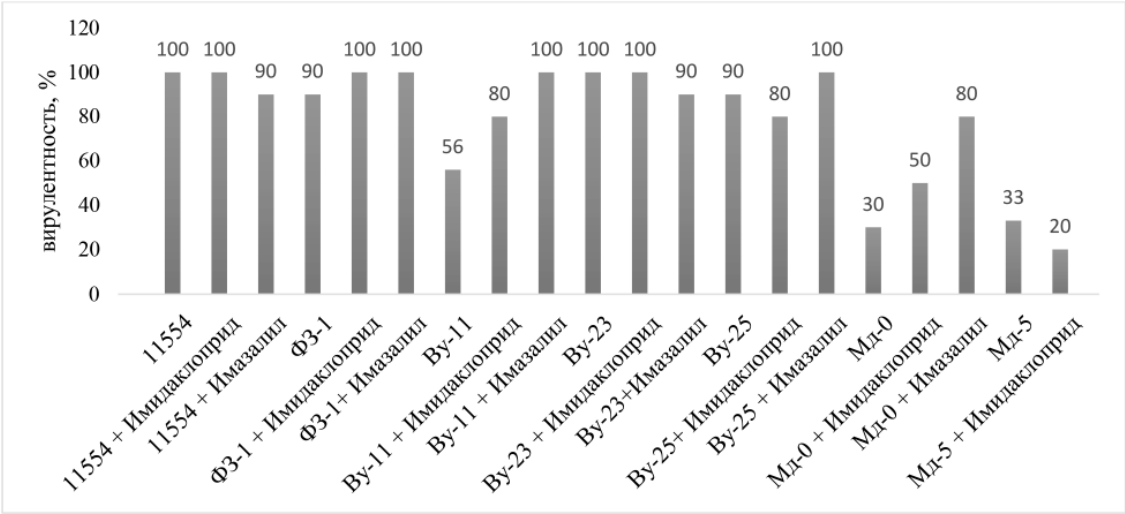


Рис. 1. Показатели вирулентности изучаемых штаммов *B. elkanii* на сое сорта Хабаровская 4, при совместном применении с химическими веществами

Таблица 1

Статистические параметры вирулентности и клубенькообразования штаммов *B. elkanii* на сое сорта Хабаровская 4, при совместном применении с химическими веществами, 2025 г.

Группа штаммов	Показатель			
	X	lim	σ	$C_v, \%$
Вирулентность, %				
7 штаммов	71,3	30...100	31,0	43,4
Количество клубеньков, шт.				
7 штаммов	7,5	0,4...13	5,9	78,5
Вирулентность, %				
7 штаммов + Имидаклоприд	75,7	20...100	30,5	40,2
Количество клубеньков, шт.				
7 штаммов + Имидаклоприд	7,5	0,8...14,7	6,1	80,5
Вирулентность, %				
7 штаммов + Имазалил	84,3	30...100	25,1	29,7
Количество клубеньков, шт.				
7 штаммов + Имазалил	8,4	0,8...12,3	4,3	51,0

Примечание – X – среднее арифметическое; lim – пределы колебаний; σ – стандартное отклонение; $C_v, \%$ – коэффициент вариации

Анализ результатов эксперимента показал, что тестируемые химические вещества, в большинстве случаев (57% Имидаклоприд, 71% Имазалил), повышают интенсивность клубенькообразования изучаемых штаммов *B. elkanii* (рисунок 2). В тоже время, при совмещении штаммов *B. elkanii* 11554 с Имазалилом, Ву-25 с Имидаклопридом, для предпосевной обработки семян, количество клубеньков на корнях сои в этих вариантах уменьшилось по сравнению с контролем на 26% и 32%, соответственно.

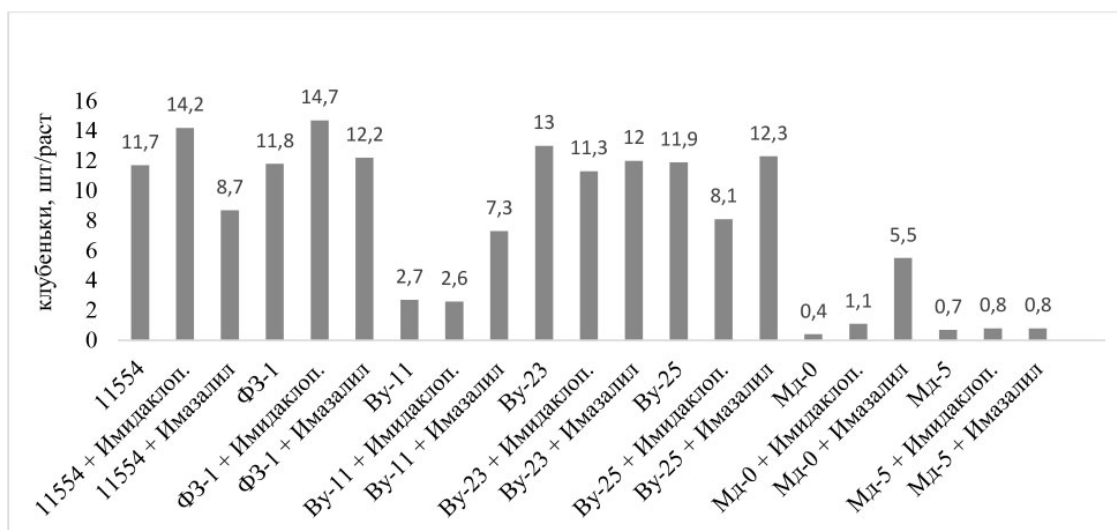


Рис. 2. Показатели клубенькообразования изучаемых штаммов *B. elkanii* на сое сорта Хабаровская 4, при совместном применении с химическими веществами

В контроле изменчивость показателя клубенькообразования была высокой ($C_v = 78,5\%$), Имидаклоприд усилил неоднородность реакции штаммов *B. elkanii* ($C_v = 80,5\%$), реакция изучаемых чистых культур ризобий на Имазалил напротив была более однородной ($C_v = 51,0\%$). В вариантах с Имидаклопридом наблюдали увеличение количества клубеньков, в среднем на 1 растение, на 59,0% по сравнению с контролем, с колебаниями по вариантам: от 14% (штамм Мд-5) до 175% (штамм Мд-0). Применение Имазалила так же повысило количество клубеньков, в среднем, по сравнению с контролем на 47,5%, а в варианте со штаммом Мд-0 показатель клубенькообразования вырос в 14 раз по сравнению с контролем. Высокая вариабельность показателя клубенькообразования в опыте ($C_v > 50\%$) указывает на избирательное действие химических веществ: некоторые штаммы (например, Мд-0) увеличивают количество клубеньков на корнях сои при совместном применении, некоторые (например, Ву-25) – снижают.

В среднем, показатели вирулентности и клубенькообразования штаммов *B. elkanii* при совмещении с тестируемыми веществами увеличились по сравнению с контролем на 5% и 59,0% (Имидаклоприд), 13% и 47,5% (Имазалил), соответственно. Выявлены резистентные формы ризобий совмещение которых, при обработке семян сои, с действующими веществами протравителей семян Имазалил, Имидаклоприд практически не повлияло (штамм *B. elkanii* Мд-5), или заметно повысило интенсивность формирования клубеньков на 21–170% (*B. elkanii* 11554, ФЗ-1, Ву-11), по сравнению с контролем. В варианте штамм *B. elkanii* Мд-0 + Имазалил показатель клубенькообразования вырос в 14 раз по сравнению с контролем. Штаммы *B. elkanii* 11554, ФЗ-1, Ву-11, Ву-23, Ву-25 показали 90–100% вирулентность при совместном применении с изучаемыми химическими веществами.

Полученные результаты подчёркивают выраженный штамм-специфический характер взаимодействия между действующими веществами протравителей и клубеньковыми бактериями, а также указывают на реальную возможность подбора толерантных штаммов *B. elkanii*, пригодных для совместного применения с современными протравителями семян в производственных условиях.

Выводы

Совместная предпосевная обработка семян сои штаммами *Bradyrhizobium elkanii* и протравителями на основе Имидаклоприда (200 г/л) и Имазалила (50 г/л) в большинстве случаев привела к увеличению показателей клубенькообразования на 21 (вариант 11554 + Имидаклоприд) – 170% (вариант Ву-11 + Имазалил), а в варианте со штаммом Мд-0 на 1275% (в 14 раз) и вирулентности на 10 (варианты ФЗ-1+ Имидаклоприд, Ву-25 + Имазалил) – 50% (вариант Мд-0 + Имидаклоприд) по сравнению с контролем. Аборигенные штаммы *B. elkanii* ФЗ-1, Ву-11, Ву-23, Ву-25 проявили высокую толерантность по отношению к тестируемым химическим веществам, сохранив вирулентность на уровне 90–100%.

Заключение

Результаты подтверждают штамм-специфический характер взаимодействия и показывают перспективность использования выявленных штаммов *B. elkanii* ФЗ-1, Ву-11, Ву-23, Ву-25, Мд-0 для безопасного сочетания химического протравливания и инокуляции в интенсивных технологиях возделывания сои.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегун С.А., Тильба В.А. Быстрорастущие формы клубеньковых бактерий сои в почвах Приамурья // НТБ ВИР. – Л., 1992. – Вып. 220. – С. 78–85.
2. Бегун С.А. Способы, приемы изучения и отбора эффективных штаммов клубеньковых бактерий сои. Методы аналитической селекции: метод рекомендации. – Благовещенск: ПКИ «Зея», 2005. – 70 с.
3. Бердышева К.Н. Анализ межмикробных взаимодействий в консорциумах на основе биопрепаратов / К.Н. Бердышева, Ю.В. Косильников, Ю.В. Лактионов // Конгресс исследователей симбиотических систем: Сборник тезисов, Москва, 06–11 октября 2025 года. – М.: ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 2025. – С. 43.
4. Бутовец Е.С. Результаты испытания штаммов ризобий видов *Bradyrhizobium japonicum* и *Sinorhizobium fredii* на сортах сои Сфера и Муссон в условиях Приморья / Е.С. Бутовец, Л.М. Лукьянчук // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 8. – С. 66–69. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10811.
5. Влияние микробиологических препаратов и предшественника на формирование симбиотического аппарата, урожайность и агрохимические показатели почвы при возделывании чечевицы, нута и чины / Г.П. Гурьев, М.В. Донская, М.М. Донской [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 1(49). – С. 10–18. – DOI 10.24412/2309-348X-2024-1-10-18.
6. Вологин И.С. Производство сои в России и на Дальнем Востоке как перспективное направление развития международной торговли / И.С. Вологин, И.Э. Островская // Экономика и предпринимательство. 2023. № 11 (160). – С. 453–457. – DOI 10.34925/EIP.2023.160.11.086.
7. Еремин Л.П. Сравнительная эффективность био- и химических фунгицидов на посевах сои / Л.П. Еремин, О.П. Чернова // Экоурбанистика: умные и зеленые города: Сборник научных статей и экокейсов по материалам Международного конкурса экопроектов, Орёл, 20–21 декабря 2022 года. – Орёл: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2023. – С. 81–87.
8. Кадермас И.Г. Симбиотическая азотфиксация сои в агроэкологических условиях Южной лесостепи Западной Сибири / И.Г. Кадермас, И.А. Сапожникова // Экологические чтения – 2024: сборник материалов XV Национальной научно-практической конференции, Омск,

- 04–05 июня 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2024. – С. 165–169.
9. Кулыева Э. Средства и методы защиты растений в сельском хозяйстве / Э. Кулыева, С. Мертгельдиева, Д.А. Бабамурадова // *Posteriori*. 2024. № 4. – С. 83–86.
 10. Лактионов Ю.В. Влияние химических фунгицидов на жизнеспособность клубеньковых бактерий сои / Ю.В. Лактионов, Ю.В. Косильников // *Сохранение и преумножение генетических ресурсов микроорганизмов: сборник тезисов IV международной конференции*, Санкт-Петербург, 30 июня – 02 июля 2025 года. – М.: Перо, 2025. – С. 47.
 11. Павлов И.Н. Применение неоникотиноидных инсектицидов в борьбе с колорадским жуком в условиях Псковской области / И.Н. Павлов, З.В. Николаева, А.Н. Левченкова // *Сельскохозяйственные науки: вопросы и тенденции развития: материалы международной научно-практической конференции*, Великие Луки, 20 декабря 2023 года. – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 237–239.
 12. Практикум по микробиологии / под редакцией А.И. Нетрусова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 608 с.
 13. Применение микробных инокулянтов в сельском хозяйстве / В.В. Пахомов, В.И. Кузьмин, С.С. Черкашин [и др.] // *Бойновские чтения: материалы конкурса научно-исследовательских работ студентов, магистрантов, аспирантов и школьников*, Октемцы, 06 апреля 2023 года / Утверждено и рекомендовано к изданию УМС АГАТУ (Протокол № 14 от 25.04.2023 г.). – Октемцы: Издательский дом Северо-Восточного федерального университета, 2023. – С. 81–84.
 14. Трофимова Л.С. Перспективные направления развития новых технологий в агрономии Дальнего Востока / Л.С. Трофимова // *Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы VI Международной научно-практической конференции: в 7 т.* Макеевка, 06 апреля 2023 года. – Макеевка: Донбасская аграрная академия, 2023. – С. 123–126.
 15. Щегорец О.В. Амурской области 165 лет: три эпохи земледелия, перспективы инновационного развития отрасли растениеводства / О.В. Щегорец, С.В. Адаменко // *АПК России*. 2024. Т. 31, № 4. – С. 515–526. – DOI 10.55934/2587-8824-2024-31-4-515-526.
 16. Эффективность протравливания семян тритикале препаратами защитного действия в Приамурье / А.А. Муратов, В.В. Епифанцев, П.В. Тихончук, Т.П. Колесникова // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 6. – С. 742–753. – DOI 10.32417/1997-4868-2024-24-06-742-753.
 17. Якименко М.В. Сохранение коллекции чистых культур *V. japonicum*, *S. fredii*, *V. elkanii* селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои / М.В. Якименко, А.И. Сорокина, И.Ю. Татаренко // *Агронаука*. 2023. Том 1. № 1. – С. 14–22.

Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Руденок В.А., кандидат химических наук,
доцент, зав. кафедрой

Кораблев Г.А., доктор химических наук,
профессор

(Удмуртский государственный аграрный
университет)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.10

ЭНТРОПИЙНЫЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО- ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассматривается возможный механизм формирования окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) при прорастании зерна, предложенный впервые. В агрономии ОВП – один из основных параметров, определяющих развитие ростков и конечную урожайность, наряду с наличием удобрений, влажностью и температурой [1, 5]. При смачивании зерна происходит гидролиз веществ, входящих в его состав, с образованием молочной кислоты.

Этот процесс сопровождается появлением двух свободных электронов. В растворе внутри зерна и в прилегающих слоях жидкости возрастает концентрация электронов, вода приобретает электроннодонорные свойства, а её биологическая активность увеличивается. В системе формируется отрицательный ОВП, что, очевидно, стимулирует последующие этапы развития зерна – появление ростков и корешков.

Ключевые слова: окислительно-восстановительный потенциал, прорастающее зерно, энтропия.

Rudenok V.A.

Korablev G.A.

ENTROPY MECHANISM OF THE FORMATION OF REDOX POTENTIAL IN BIOLOGICAL SYSTEMS

A possible mechanism of the formation of redox potential (ORP) during grain germination is considered, proposed for the first time. In agronomy, ORP is one of the main parameters determining the development of sprouts and final yield, along with the presence of fertilizers, moisture and temperature [1, 5]. When grain is wetted, hydrolysis of its constituent substances occurs, resulting in the formation of lactic acid.

This process is accompanied by the appearance of two free electrons. In the solution inside the grain and in the adjacent liquid layers, the electron concentration increases, water acquires electron-donor properties, and its biological activity increases. A negative ORP is formed in the system, which apparently stimulates the subsequent stages of grain development – the emergence of sprouts and roots.

Keywords: redox potential, germinating grain, entropy, biological systems, electron-donor properties, hydrolysis.

Цель

Установление механизма формирования отрицательного окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) при прорастании зерна и его связи с энтропийными закономерностями.

Материалы и методы

В стакан вместимостью 50 мл насыпали зерно немного ниже верхнего края и заливали водой до полного покрытия зерна. В смоченное зерно вводили два электрода: платиновый и хлорсеребряный электрод сравнения. Электроды подключали к входу рН-метра, включённого в режим милливольтметра. Показания прибора периодически записывали. Измерения проводили при комнатной температуре на семенах овса, пшеницы, ржи и ячменя.

Измерение окислительно-восстановительного потенциала прорастающего зерна**Результаты измерений и их обсуждение**

Измерения показали, что величина ОВП изменяется во времени для всех четырёх культур, причём смещение в сторону отрицательных значений происходило идентично для всех исследованных сортов (табл. 1).

*Таблица 1***Окислительно-восстановительный потенциал раствора при замачивании семян**

Время от начала опыта, час	Культура			
	Окислительно-восстановительный потенциал, мВ			
	овес	ячмень	рожь	пшеница
0	184	185	185	186
1	208	202	204	203
2	291	294	293	294
3	238	245	248	242
4	206	215	213	210
5	169	161	161	156
6	-64	-66	-65	-63
7	-120	-115	-115	-115
9	-173	-174	-173	-172
10	-188	-188	-184	-182
19	-314	-315	-314	-316
20	-328	-326	-332	-325
24	-330	-332	-332	-333
25	-330	-332	-332	-333

Поэтому дальнейший анализ проведён на примере одного овса (табл. 2).

*Таблица 2***Изменение ОВП воды с течением времени при замачивании в ней семян овса**

Время от начала опыта, час.	ОВП, мВ	Время от начала опыта, час.	ОВП, мВ
–	+124	11,0	-133
2	+125	23	-330
7	0,00	25	-333

ОВП является важным параметром воздействия среды на прорастающее зерно [2]. Например, урожайность зерновых, обработанных перед посадкой раствором с отрицательным ОВП, заметно повышается: без обработки – 1,77 т/га, после обработки – 1,96 т/га [6]. В монографии Ковриго В.П. [2] указано, что ОВП представляет собой обобщённый показатель направленности биологических процессов в почвах.

В работе [6] отмечено, что основным фактором, определяющим смещение потенциала в отрицательную сторону, является присутствие кислорода в системе. Наши исследования наглядно продемонстрировали это влияние (табл. 3).

Таблица 3

Влияние газовой среды на ОВП замоченных семян овса

Газовая фаза	Время выдержки, час.												
	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10	19	20	24
Воздух	+184	+208	+291	+238	+206	+169	–64	–120	–173	–188	–314	–328	–330
Водород	+191	+196	+239	+281	+320	+376	+417	+431	+420	+441	+468	+470	+473
Кислород	–5	–100	–118	–163	–181	–220	–246	–256	–276	–280	–298	–302	–312

При смачивании зерна происходит гидролиз веществ, входящих в его состав, с образованием ряда органических кислот – продуктов распада более сложных компонентов [6]. В частности, это молочная, яблочная и другие кислоты. Молочная кислота – наиболее сильная из них; степень её электролитической диссоциации на порядок выше, чем у других кислот (табл. 4).

Таблица 4

Органические кислоты и их свойства

Кислота			
Молочная	Масляная	Валериановая	Капроновая
Степень диссоциации кислоты			
$1,37 \cdot 10^{-4}$	$1,52 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,39 \cdot 10^{-5}$

Очевидно, что именно молочная кислота будет оказывать наиболее существенное влияние на процессы развития зерна при его прорастании. В литературе [6] показано, что при недостатке кислорода молочная кислота, содержащаяся в растворе, превращается в пировиноградную; эта реакция катализируется ферментами дигидрогеназами с участием коферментов НАД(Ф). Превращение сопровождается выделением двух свободных электронов.

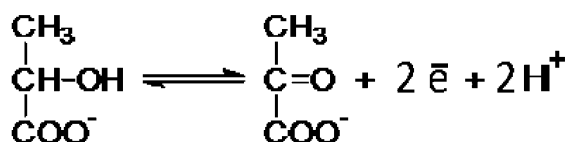


Рис. 1. Реакция перехода молочной кислоты (лактата) в пировиноградную кислоту (пируват)

Накопление электронов в растворе должно, очевидно, смещать ОВП в отрицательную сторону. Таким образом, присутствие молочной кислоты в прорастающем зерне может обеспечивать

накопление электронов по этому механизму, придавая окружающему зерно раствору электронно-донорные свойства.

Наши измерения показали, что происходит направленное смещение ОВП раствора с замоченным зерном в отрицательную сторону более чем на 500 милливольт (от +184 до –333 мВ) это примерно соответствует разности стандартных электродных потенциалов двух металлов: меди и никеля ($\text{Cu} = +337 \text{ Мв}$, $\text{Ni} = -0,23 \text{ Мв}$). Процесс носит нелинейный характер: в первые шесть часов ОВП остаётся неизменным, затем начинает равномерно смещаться в отрицательную сторону и через сутки достигает максимального значения. Можно предположить, что результат такого смещение запускает цепочку последовательных превращений внутри зерна, ведущих к развитию ростков и корней зародыша.

Энтропия в технологии проращивания семян

В соответствии с принципом Ле-Шателье энергетика биохимических процессов может оцениваться через понятия энтропии и негэнтропии. Все явления и процессы в природе протекают только в двух энергетических направлениях: либо по градиенту силового поля (энтропия), либо против градиента (негэнтропия) [3].

Применительно к взаимодействиям атомных структур в настоящих исследованиях это может быть окислительно-восстановительный потенциал (ОВП). Согласно литературным данным [2], ОВП представляет собой обобщенный показатель направленности биологических процессов в почвах. По энергетическим свойствам и направленности взаимодействия данный параметр полностью соответствует терминам «энтропия» и «негэнтропия» в зависимости от знака ОВП. Известно, что потенциал почвы положительный и находится в пределах от +200 до +400 мВ.

Принцип энтропийных взаимодействий можно рассмотреть на примере вращательного движения представленного на рис. 2 [3].

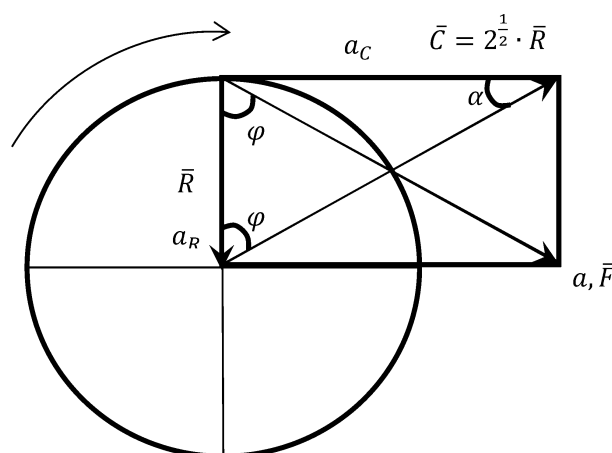


Рис. 2. Кинематические характеристики вращательных движений:
 $\bar{R}$ – вектор центростремительного движения; $\bar{C}$ – вектор линейного (касательного) движения; a_R – центростремительное ускорение; a_C – линейное ускорение; a – полное ускорение; $\bar{F}$ – вектор полного взаимодействия.

В этой схеме вектор ($\bar{C}$) есть отрицательная энтропия (негэнтропия) а вектор ($\bar{R}$) – положительная энтропия (энтропия). Их соотношение определяет стабильный процесс энтропийных взаимодействий. Он называется тангенс геодезического угла и численно равен

$$\operatorname{tg} \varphi = C/R = 2^{1/2} = 1,414213 \quad (1)$$

где φ – геодезический угол, равный $54,736^\circ$.

Этот угол универсален в природе (например, тутовый шелкопряд наматывает нить на кокон именно под таким углом). Поэтому можно предположить, что изменение ОВП при проращивании зерна также подчиняется энтропийным закономерностям образования стабильных систем.

Исходное значение ОВП зерна положительно, а его отрицательная величина нарастает постепенно под внешним воздействием (например, кислорода или молочной кислоты). В таблице 5 показано, что отношение отрицательных экспериментальных значений ОВП семян к величине тангенса геодезического угла даёт значения, соответствующие известному диапазону положительных значений ОВП почвы (235–354 мВ), что подтверждает энтропийную природу процесса проращивания.

Таблица 5

Экспериментальные и известные значения ОВП

Экспериментальные ОВП (мВ)	–333	–330	–440
ОВП почвы (мВ)	+235	+311	+354

В заключение следует отметить, что универсальность энтропийных взаимодействий уже показана в более сложных системах, в том числе космологических [3], и может находить применение в технологии пищевой и фармацевтической промышленности.

Выводы

Впервые установлено, что при смачивании зерна происходят процессы преобразования его состава, приводящие к формированию электроннодонорных свойств раствора вокруг зерна и повышению его биологической активности.

Воздействие такого раствора внутри зерна запускает процессы прорастания, ведущие к росту стеблей и корней будущего растения.

Применение энтропийных принципов позволило определить технологию получения ОВП при прорастании семян.

Описанная методология может быть полезна для оценки структурных взаимодействий и в других биосистемах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грин Н., Стаут Н., Тейлор У. Биология: в 3 т. – М.: Мир, 2004. – 1023 с.
2. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики: монография / В.П. Ковриго. – Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. – 490 с.
3. Кораблёв Г.А. Энтропийные принципы в физико-химии и космологии // Наука и мир. 2025. № 9 (145).
4. Меледина Т.В., Прохорчик И.П., Кузнецова Л.И. Биохимические процессы при производстве солода: Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 89 с.
5. Пасько О.А. Активированная вода и возможности ее применения в растениеводстве и животноводстве: монография / под ред. Д.Д. Добмоева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 397 с.
6. Руденок В.А. Окислительно-восстановительный потенциал прорастания семян // Мичуринский агрономический вестник. 2024. № 1. – С. 74–78.

Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры

Ажам Б., аспирант

Козлова Е.А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

ВЛИЯНИЕ СТРАТИФИКАЦИИ НА ВСХОЖЕСТЬ И ЭНЕРГИЮ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА РОДОДЕНДРОН (RHODODENDRON L.)

Наибольшие показатели всхожести имели семена *Rh. Smirnowii*, 100% в контроле и с применением Эпин-Экстра. У сортов *Rh. catawbiense* Cunningham's White и Lunik также отмечали в контрольном варианте наибольшую всхожесть, 96,7% и 93,3% соответственно. У сорта Nova Zembla наибольшая всхожесть семян в варианте с Цирконом, 93,3%. У *Rh. japonicum* всхожесть семян высокая во всех вариантах: в контроле и Эпин-Экстра 93,3% и 96,7% в Цирконе. По показателю энергии прорастания отмечали, что наибольшими значениями характеризуются семена *Rh. Smirnowii*, 90% в контроле и 96,7% в варианте опыта с использованием Эпин-Экстра. Также, высоким значением отметился сорт *Rh. catawbiense* Nova Zembla, 90% в варианте с Эпин-Экстра. После проведения холодной стратификации отмечали 100% всхожесть семян в контрольном варианте у *Rh. Smirnowii*. В варианте с применением Циркона всхожесть семян также высокая и составила 76,7%. Также высокие показатели всхожести семян имеет *Rh. japonicum*, 93,3% в контроле и 90% в Эпин-Экстра и Цирконе. У сорта Cunningham's White всхожесть семян наибольшая также в контрольном варианте, 96,7%. Применение метода холодной стратификации совместно с биостимуляторами не оказало заметного влияния на скорость и успешность прорастания семян рододендронов.

Ключевые слова: рододендроны, семена, всхожесть, энергия прорастания, стратификация.

Ajam B.

Kozlova Ye.A.

THE EFFECT OF STRATIFICATION ON SEED GERMINATION AND GERMINATION ENERGY IN SPECIES OF THE GENUS RHODODENDRON (RHODODENDRON L.)

The highest germination rates were observed for *Rh. smirnovii* seeds: 100% in the control treatment and with the application of Epin-Extra. The cultivars *Rh. catawbiense* 'Cunningham's White' and 'Lunik' also showed the highest germination in the control treatment: 96.7% and 93.3%, respectively. The cultivar 'Nova Zembla' showed the highest seed germination in the Zircon treatment: 93.3%. *Rh. japonicum* seeds exhibited high germination rates in all treatments: 93.3% in the control and with Epin-Extra, and 96.7% with Zircon. Regarding germination energy, it was noted that the highest values were characteristic of *Rh. smirnovii* seeds: 90% in the control and 96.7% in the treatment using Epin-Extra. The cultivar *Rh. catawbiense* 'Nova Zembla' also showed a high value of 90% in the Epin-Extra treatment. After cold stratification, 100% seed germination was observed in the control treatment for *Rh. smirnovii*. In the treatment with Zircon, seed germination was also high, amounting to 76.7%. *Rh. japonicum* also had high seed germination rates: 93.3% in the control and 90% with Epin-Extra and Zircon. The cultivar 'Cunningham's White' showed the highest seed germination also in the control treatment: 96.7%. The application of the cold stratification method in combination with biostimulants did not have a noticeable effect on the speed and success of rhododendron seed germination.

Keywords: rhododendron, seeds, germination, germination energy, stratification.

Введение

Род *Rhododendron* L. является самым крупным в семействе вересковых (*Ericaceae* Juss.) и включает порядка 1300 видов, а также свыше 1000 гибридов, сортов и садовых форм. Рододендроны ценят за декоративность: разнообразие форм, окраску листьев и цветков в разные периоды цветения, что делает их востребованными в озеленении городских и частных территорий. Благодаря широкой экологической амплитуде и богатству морфологических особенностей, многие виды и сорта рододендронов используют для создания уникальных садовых композиций, исследований в области интродукции, а также в селекционной работе [1].

В естественных условиях рододендроны распространены основном в умеренных широтах северного полушария. Изредка встречаются в горных тропических районах. В связи с такой географической распространенностью для семян большинства видов рододендронов характерен период покоя, возникающий под влиянием неблагоприятных сезонных факторов окружающей среды, то есть холодной зимы [2].

В качестве адаптации к неблагоприятным зимним условиям в умеренных широтах у данной культуры эволюционно выработался механизм, предотвращающий прорастание семян осенью, однако повлекший за собой определенное снижение успешности прорастания семян. Низкая всхожесть семян рододендронов является одним из ключевых лимитирующих факторов при их интродукции и размножении. Основная причина этого – в особенности биологии семян, в наличии комбинированного (физиологического и морфологического) покоя [3,4]. Физиологический компонент покоя обусловлен наличием в зародыше семени блокаторов роста, а морфологический компонент связан с недоразвитием зародыша, который на момент созревания семени не достигает необходимых для прорастания размеров и требует дополнительного времени для доразвития [5]. В связи с этим возникает необходимость исследования возможности применения методов стратификации при проращивании семян рододендронов.

Классическим методом преодоления комбинированного покоя семян растений является холодная стратификация – выдерживание семян при пониженной положительной температуре +1 °С...+5 °С во влажной среде. Однако, эффективность стандартной холодной стратификации может быть недостаточной. Установлено, что предварительная теплая стратификация (выдерживание при температуре от +15 °С до +20 °С в течение нескольких недель) с последующей холодной стратификацией значительно повышает процент всхожести [6]. Теплый этап является имитацией конца лета и способствует доразвитию зародыша, а последующий холодный нивелирует действие физиологических ингибиторов роста. Такой подход позволяет синхронизировать прорастание и значительно увеличить лабораторную и грунтовую всхожесть, что является важным для сохранения биоразнообразия и разведения рододендронов [2].

Для проращивания семян рододендронов необходима температура в пределах от +18 °С до +22 °С, хотя для некоторых видов необходима холодная стратификация [7, 8]. Связано это с тем, что период массовой всхожести бывает растянут и данный факт указывает на то, что семена древесных культур все же нуждаются в применении стратификации [6]. Для нарушения неглубокого покоя семян рекомендуется применение кратковременного (от нескольких часов до нескольких недель) охлаждения при невысоких положительных температурах. Как отмечает автор [9] проращивание семян при переменных положительных температурах позволяет повысить их всхожесть в отличии от проращивания при постоянной температуре.

Семена рододендронов разнообразны: форма продолговатая или яйцевидная, может быть цилиндрической или уплощенно-эллипсоидальной; поверхность семенной кожуры нередко имеет крыловидные или хвостатые выросты [10]. Данное морфологическое разнообразие связано с адаптациями к различным механизмам распространения семян в различных климатических условиях. На размер и массу семян влияние оказывают условия произрастания, положение плода в соцветии [11]. Семена различаются по биохимическому составу запасных веществ, где соотношение

липидов, белков и углеводов может существенно различаться у разных видов [12]. Такое биохимическое разнообразие оказывает значительное влияние на процессы прорастания семян.

Также для повышения всхожести семян и энергии прорастания используют биостимуляторы растений, в частности Эпин-Экстра и Циркон, которые, ускорить появление всходов и сделать их более дружными улучшают жизненно важные процессы растений (всхожесть, рост, стрессоустойчивость). Эпин-Экстра больше подходит для стимуляции старых семян с низкой энергией прорастания [16]. Циркон ускоряет появление всходов и защищает от грибковых инфекций [17]. В своей работе автор [2] отмечает положительное влияние данных препаратов на всхожесть и энергию прорастания семян представителей рода рододендрон. Другие авторы [18, 19] рекомендуют для проращивания семян использовать Циркон, так как его противогрибковое действие защищает мелкие семена от плесени в условиях высокой влажности, в которой и прорастают его семена. Эпин-Экстра применять уже после появления всходов для снятия стресса и лучшего развития.

Цель исследований

Целью данной работы является проведение оценки всхожести семян у представителей рода рододендрон (*Rhododendron* L.) при применении метода холодной стратификации и без нее, а также при использовании биостимуляторов Эпин-Экстра и Циркон.

Объекты исследования

Представлены следующими видами и сортами рододендрона: *Rh. Smirnowii* Trautv.; *Rh. japonicum* Suring.; *Rh. canadense* (L.) Torr.; *Rh. mucronulatum* Turcz. *Rh. catawbiense* Michx. представлен сортами: *Grandiflorum*, *Boursault*, *Madam Carvalho*, *Cunningham's White*, *Bohumil Kavka*, *Lunik*, *Nova Zembla*, *Polar Bear*, *Rebe* из коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [20].

Условия и методики проведения исследований

Семена собирали в период, когда коробочки еще зеленые, а верхушки коробочек только начали становиться коричневыми [13]. Посев семян производили в чашки Петри по 30 штук в каждую. Повторность 3-х кратная. Количество проросших семян определяли методом подсчета. Энергию прорастания считали на 19-й день.

Варианты опыта с применением биостимуляторов роста: контроль (без замачивания); замачивание в Эпин-Экстра (на 2,5 часа); замачивание в Цирконе (на 2,5 часа).

Варианты опыта с применением биостимуляторов роста с предварительной холодной стратификацией. Семена на одни сутки помещали в холодильник при температуре +3 °С...+5 °С: контроль (без замачивания); замачивание в Эпин-Экстра (на 2,5 часа); замачивание в Цирконе (на 2,5 часа).

Результаты и обсуждения

Одним из показателей успешной адаптации растений к новым условиям выращивания является их способность к семенному размножению. Семенное размножение наиболее предпочтительное, так как растения, полученные из семян, обладают большей устойчивостью к воздействию окружающей среды и различным заболеваниям. При семенном размножении рододендронов каждое следующее поколение демонстрирует более высокую зимостойкость и приспособленность к новым экологическим условиям [14, 15].

Первые всходы семян начали появляться на 12–14 день. Массовое прорастание отмечали на 14 день, окончание на 36 день. Одним из важнейших факторов, влияющих на прорастание семян, является температурный режим. В нашем случае температура в дневное время составляла +18 °С...+23 °С, в ночное +19 °С...+20 °С. Согласно литературным источникам, перепады положительных температур в дневное и ночное время способствуют лучшему прорастанию семян [9].

Наибольшие показатели всхожести семян имели *Rh. Smirnowii*, 100% в контроле и с применением Эпин-Экстра. У сортов *Rh. catawbiense* *Cunningham's White* и *Lunik* также отмечали в контрольном варианте наибольшую всхожесть, 96,7% и 93,3% соответственно. У сорта *Nova*

Zembla наибольшая всхожесть семян в варианте с Цирконом, 93,3%. У *Rh. japonicum* всхожесть семян высокая во всех вариантах: в контроле и Эпин-Экстра 93,3% и 96,7% в Цирконе. Наименьшие показатели всхожести семян имели сорта *Rh. catawbiense Cunningham's White* и *Polar Bear* в Эпин-Экстра и Цирконе: 43,3% и 40%, 46,7 и 33,3% соответственно. Самые низкие показатели всхожести семян у сорта *Rebe*: 30% в контроле, 46,7% в Эпин-Экстра, 43,3% в Цирконе (таблица 1).

По показателю энергии прорастания отмечали, что наибольшими значениями характеризуются семена *Rh. Smirnowii*, 90% в контроле и 96,7% в варианте опыта с использованием Эпин-Экстра. Также, высоким значением отметился сорт *Rh. catawbiense Nova Zembla*, 90% в варианте с Эпин-Экстра. Наименьшими показателями вновь характеризуются семена *Rh. catawbiense* сорта *Rebe* во всех вариантах опытов: 36,7% в контроле, 50% в Эпин-Экстра и 40% в Цирконе; сорта *Cunningham's White* и *Polar Bear* в Эпин-Экстра и Цирконе, 46,7% и 33,3% соответственно.

После проведения холодной стратификации отмечали 100% всхожесть семян в контрольном варианте у *Rh. Smirnowii*. В варианте с применением Циркона всхожесть семян также высокая и составила 76,7%, в варианте опыта с Эпин-Экстра всего 40%. Предположительно, для данного сорта возможно проведение стратификации без дополнительного замачивания семян в биостимуляторах. Одними из наиболее высоких показателей по всхожести семян у *Rh. japonicum*, 93,3% в контроле и 90% в Эпин-Экстра и Цирконе. У сорта *Cunningham's White* всхожесть семян наибольшая также в контрольном варианте, 96,7%. В вариантах с применением биостимуляторов данный показатель снизился в 1,5–2 раза. Наименьшими показателями по всхожести семян вновь характеризуется сорт *Rebe*, в контроле 30,0%, с применением Эпин-Экстра и Циркона 23,3% и 40% соответственно и у сорта *Polar Bear* в Цирконе и Эпин-Экстра данный показатель составил 16,7% и 13,3% соответственно (таблица 2).

Показатели энергии прорастания у *Rh. catawbiense* отсутствуют при применении Эпин-Экстра, 0% у сортов *Polar Bear* и *Rebe*. Также отмечали низкие показатели энергии прорастания с применением Эпин-Экстра у сортов *Rh. catawbiense Nova Zembla*, *Lunik* и *Grandiflorum*, 3,3%, 10,0% и 13,3% соответственно. В данном варианте опыта значения контрольной группы характеризовались наибольшими показателями по показателю энергии прорастания семян. Анализируя полученные данные отмечаем, что применение метода холодной стратификации совместно с биостимуляторами не оказало заметного влияния на скорость и успешность прорастания семян рододендронов.

Исходя из всего вышесказанного можно предположить, что для *Rh. japonicum* и *Rh. Smirnowii* с целью повышения всхожести и энергии прорастания семян имеет смысл применение биостимуляторов как в сочетании со стратификацией, так и без. В остальных случаях применение Эпин-Экстра, не оказывало заметного влияния на данные показатели. Это может быть связано с тем, что данный биостимулятор больше подходит для снижения стресса выращиваемых растений. Также имеет смысл проведение дополнительных опытов по стратификации семян, например, помещение их в холод на более долгий срок или чередование температур для создания условий температурных колебаний, характерных для весеннего периода умеренных широт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кокшеева И.М., Нестерова С.В. Условия и сроки хранения семян рододендронов // Вестник ОГУ. 2011. № 4 (123).- С. 103–109.
2. Кокшеева И.М. Оптимизация методики проращивания семян представителей рода *Rhododendron* // Вестник КрасГА У. 2009. № 3. – С. 80–82.
3. Александрова М.С. Рододендроны. – Л.: Наука, 1989. – 112 с.
4. Tilkat E., Isikalan Ç., Onay A. (2005). Effect of cold stratification on seed germination of *Rhododendron ponticum* L. Journal of Environmental Biology, 26 (3), 441–444.

Таблица 1

Лабораторная всхожесть, энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян при замачивании в биостимуляторах, %

Объекты исследований	Контроль		Эпин-Экстра		Циркон		
	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	
<i>Rh. catawbiense</i> Michx.	<i>Cunningham's White</i>	96,7	76,7	43,3	60,0	40,0	46,7
	<i>Nova Zembla</i>	76,7	70,0	83,3	90,0	93,3	76,7
	<i>Lunik</i>	93,3	83,3	83,3	50,0	66,7	60,0
	<i>Polar Bear</i>	66,7	63,3	46,7	53,3	33,3	33,3
	<i>Grandiflorum</i>	80,0	73,3	80,0	83,3	70,0	70,0
<i>Rh. Smirnowii</i> Trautv.	<i>Rebe</i>	30,0	36,7	46,7	50,0	43,3	40,0
		100,0	90,0	100,0	96,7	80,0	80,0
<i>Rh. japonicum</i> Suring.		93,3	86,7	93,3	93,3	96,7	96,7

Таблица 2

Лабораторная всхожесть и энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян при замачивании в биостимуляторах с предварительной холодной стратификацией, %

Объекты исследований	Контроль		Эпин-Экстра		Циркон		
	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	
<i>Rh. catawbiense</i> Michx.	<i>Cunningham's White</i>	96,7	76,7	40,0	20,0	56,7	53,3
	<i>Nova Zembla</i>	76,7	70,0	40,0	3,33	80,0	46,7
	<i>Lunik</i>	93,3	83,3	53,3	10,0	66,7	40,0
	<i>Polar Bear</i>	66,7	63,3	16,7	0,00	13,3	3,33
	<i>Grandiflorum</i>	80,0	73,3	40,0	13,3	83,3	76,7
<i>Rh. Smirnowii</i> Trautv.	<i>Rebe</i>	30,0	36,7	23,3	0,0	40,0	33,3
		100,0	90,0	40,0	10,0	76,7	66,7
<i>Rh. japonicum</i> Suring.		93,3	86,7	90,0	90,0	90,0	100,0

5. *Baskin C.C., Baskin J.M.* (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination* (2nd ed.). Academic Press.
6. *Воронкова Н.М.* Прорастание семян некоторых редких и исчезающих видов Приморского края / Н.М. Воронкова, С.В. Нестерова, Ю.Н. Журавлев // *Растительные ресурсы*. 1996. Т. 32. Вып. 3. – С. 51–59.
7. *Николаева М.Г.* Справочник по проращиванию покоящихся семян / М.Г. Николаева, М.В. Разумова, В.Н. Гладкова. – Л., 1985. – 347 с.
8. *Сахарова С.Т.* Лабораторная всхожесть семян рододендронов / С.Т. Сахарова. – М., 1993. – С. 124–128.
9. *Центалович В.Г.* Особенности морфологии и биологии семян рододендрона сихотинского / В.Г. Центалович // *Экологические проблемы семеноведения интродуцентов*. – Рига, 1984. – 134 с.
10. *Ecology and Evolution of Rhododendrons* (2016) / Ed. by M.N. Tamta. New Delhi: Daya Publishing House. – Chapter 4: Seed dispersal syndromes.
11. *Барбухатти К.Г., Головач А.Г.* (2019). Изменчивость морфометрических параметров семян *Rhododendron luteum* Sweet в условиях интродукции в Беларуси // *Труды БГТУ, Серия «Лесное хозяйство»*, 2, 55–60.
12. *Кондратович И.В.* (2020). Биохимические особенности семян представителей семейства Ericaceae Juss. и их значение для прорастания // *Сибирский лесной журнал*, 6, 70–78.
13. *Кондратович Р.Я.* Рододендроны. – Рига. 1981. – 231 с.
14. Семенное размножение интродуцированных древесных растений / Н.А. Бородина [и др.]. – М.: Наука, 1970. – 320 с.
15. *Ботяновский И.Е.* Опыт интродукции некоторых видов рододендронов в условиях Белоруссии / И.Е. Ботяновский // *Интродукция растений* / Н.В. Смольский (ответственный редактор) [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1976. – С. 131–135.
16. *Головацкая И.Ф., Карначук Р.А.* Роль брассиностероидов в регуляции роста и устойчивости растений // *Онтогенез*. 2010. Т. 41. № 4. – С. 245–257.
17. *Шевчук О.П., Гончар М.О.* Гідроксикоричні кислоти як компоненти системної резистентності рослин // *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2019. Т. 51. № 6. – С. 483–497.
18. *Лапаева В.С., Пожидаева К.А.* Влияние регуляторов роста на продуктивность яровой пшеницы в условиях лесостепи Алтая // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 1. – С. 34–38.
19. Royal Horticultural Society (RHS). How to grow Rhododendrons from seed // RHS Gardening. – URL: <https://www.rhs.org.uk/propagation/rhododendron-from-seed>.
20. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621868 Российская Федерация. «Коллекция представителей рода Рододендрон (RHODODENDRON L.) на территории ФГБОУ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Дендрологический сад имени Р.И. Шредера»: заявл. 17.04.2025; опубл. 24.04.2025 / Е.А. Козлова, А.Н. Сахоненко, Б. Ажам; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Науки о Земле и окружающей среде

Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика

Харди́ков А.Э., доктор геолого-минералогических наук, профессор

Бондарева О.С., кандидат географических наук, доцент

(Южный федеральный университет)

ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ ЦЕОЛИТЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

На Северном Кавказе распространены комплексы, содержащие цеолиты вулканогенно-осадочно-го генетического типа. Ааленские, байосские, средне-верхнеаптские и сеноманско-нижнетуронские цеолитсодержащие отложения пространственно и генетически связаны с подводным вулканизмом. Их формирование происходило в открытом морском бассейне нормальной солености на глубине до 500 м на фоне прогибания дна и низкой гидродинамической активности. Верхнеплиоценовые цеолитсодержащие породы пространственно и генетически связаны с очагами аэрального эксплозивного вулканизма на территории горно-складчатого сооружения Центрального Кавказа. Накопление материала для образования цеолитов происходило в пресноводных озерах, возникших вследствие временного прекращения стока древних рек.

Ключевые слова: Северный Кавказ, природные цеолиты, вулканогенно-осадочный генетический тип, юрская и меловая системы, плиоцен.

Khardikov A.E.

Bondareva O.S.

VOLCANOGENIC-SEDIMENTARY ZEOLITES OF THE NORTH CAUCASUS

Complexes containing zeolites of volcanogenic-sedimentary genetic type are common in the North Caucasus. The Aalenian, Bajocian, Middle-Upper Aptian, and Cenomanian-Lower Turonian zeolite-bearing deposits are spatially and genetically related to underwater volcanism. Their formation took place in an open sea basin of normal salinity at a depth of up to 500 m against the background of bottom deflection and low hydrodynamic activity. Upper Pliocene zeolite-bearing rocks are spatially and genetically related to the foci of aerial explosive volcanism on the territory of the folded mountain structure of the Central Caucasus. The accumulation of material for the formation of zeolites occurred in freshwater lakes, which arose as a result of the temporary cessation of the flow of ancient rivers.

Keywords: North Caucasus, natural zeolites, volcanogenic-sedimentary genetic type, Jurassic and Cretaceous systems, Pliocene.

Введение

На Северном Кавказе цеолитсодержащие комплексы являются стратифицированными телами, сформировавшимися в бассейнах седиментации. Важнейшим фактором, определяющим характер процессов образования цеолитов, является наличие и состав исходного реакционно-способного материала. По этому признаку на Северном Кавказе выделяются бассейны, в которых цеолиты формировались: 1) за счет преобразования витрокластов и другой пирокластики в морских или озерных обстановках; 2) по осадочному материалу, не содержащему вулканогенное вещество или содержащему его в малых количествах [3–11].

Смена цеолитовых ассоциаций в процессе литогенеза происходит в результате нарастания температур и давлений в погружающемся осадке. Агентом цеолитообразования являются застойные поровые воды, состав которых меняется с глубиной, вследствие реакционного взаимодействия с окружающим веществом. Матрицей, по которой идет образование цеолитов, служат осадочные и вулканогенно-осадочные отложения. Сочетание этих факторов приводит к закономерной смене цеолитовых ассоциаций гальмиролиза на ассоциации диагенеза и, глубже, катагенеза, которые затем переходят в бесцеолитовые парагенезисы собственно метаморфизма.

Обсуждение результатов

С учетом современных представлений о генезисе цеолитов, на основании изучения минералого-петрографических, геохимических и фациальных особенностей цеолитсодержащих пород, на Северном Кавказе выделяется два генетических типа цеолитов: вулканогенно-осадочные, образующиеся в бассейнах первой группы и осадочные, образующиеся в бассейнах второй группы.

Причиной образования цеолитов вулканогенно-осадочного типа является преобразование вулканического стекла под действием морских вод и щелочных поровых растворов. Видовой состав цеолитов зависит от состава исходного вулканического стекла и растворов. По стеклу кремнекислого состава в морских бассейнах образуются, главным образом, клиноптилолит, реже морденит. По стеклу средне-кремнекислого и основного состава формируются морденит, а также шабазит, филлипсит, анальцит, иногда эрионит.

Высоко реактивное вулканическое стекло, попадая в морскую (слабощелочную) воду, подвергается растворению и гидратации, вследствие чего в раствор переходят щелочные и щелочноземельные катионы. При этом pH раствора повышается, а в составе вулканического стекла увеличивается содержание алюмо- и кремнекислородных тетраэдров, которые группируются в цепочки и кольца, являющиеся первичными элементами для построения каркасной структуры цеолитов. На характер и скорость преобразования вулканического стекла существенное влияние оказывает значение pH поровых растворов. С увеличением pH увеличивается скорость преобразования стекла в цеолиты. При pH менее 7,5–8,0 по вулканическому стеклу образуются преимущественно глинистые минералы. Дальнейшее растворение стекла быстро приводит к повышению pH порового раствора до 9,0 и выше. Вследствие этого образование глинистых минералов прекращается, и формируются цеолиты.

Воздействие на вулканическое стекло нейтральных пресных вод (pH около 7) приводит к росту кристаллов клиноптилолита на месте прежних структурообразующих компонентов породы. Вследствие этого цеолиты наследуют формы исходных частиц, что подтверждается наличием псевдоморфоз клиноптилолита по стеклу. Кроме того, экспериментальными работами показано, что в условиях нейтральных сред при температуре до 25 °C и поверхностном давлении, медленное растворение стекла происходит, в основном, за счет выноса из него кремнезема при почти полной неподвижности остальных компонентов [12].

Для процесса преобразования вулканического стекла в цеолиты необходимо его равновесие с раствором в условиях закрытой или полужакрытой системы в осадке при очень слабой циркуляции поровых растворов с геохимическим барьером по величине pH более 8,0–8,5. При постоянном обновлении жидкой фазы в условиях интенсивной циркуляции поровых вод образование цеолитов не происходит, а вместо них возникают глинистые минералы. При значениях pH от 7,5–8,0 до 9,0 – образуются (в течение миллионов лет), высококремнистые цеолиты, главным образом, клиноптилолит и морденит. Если pH составляет более 9,0, то в течение тысяч лет образуются низко-кремнистые цеолиты – филлипсит, шабазит, анальцит, реже эрионит (рисунок 1).

Важнейшим фактором, определяющим минеральный состав цеолитов вулканогенно-осадочного типа, является температура осадка и пропитывающего его раствора. Требования термодинамики предопределяют появление более гидратированных фаз с понижением температуры:

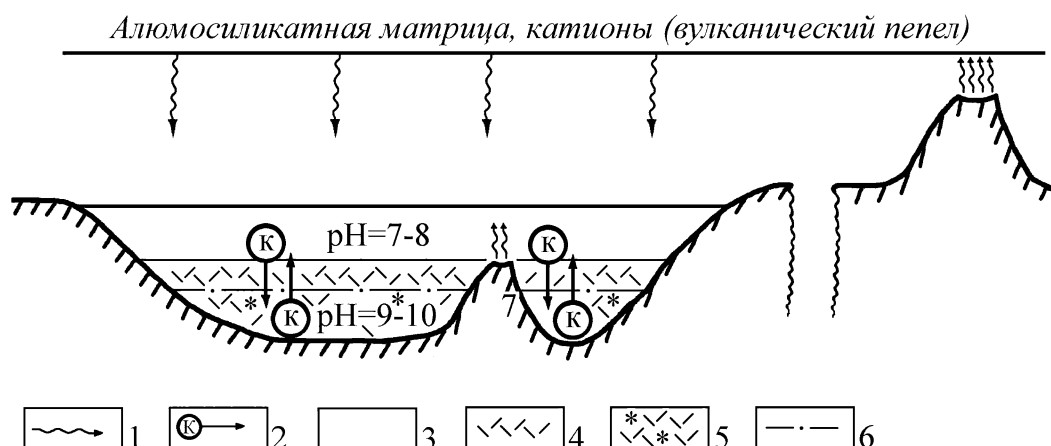
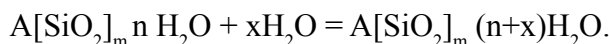


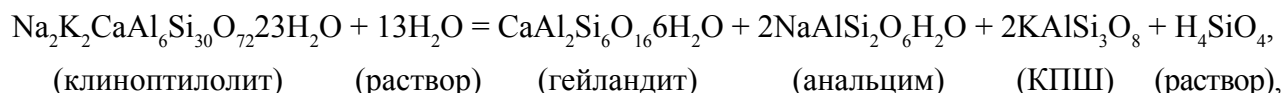
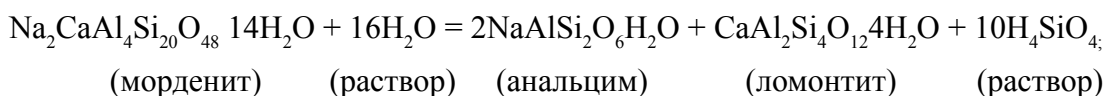
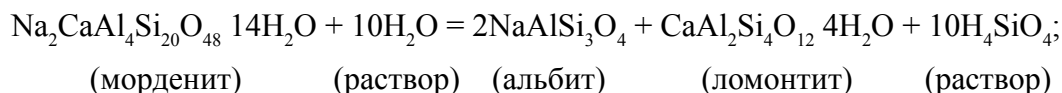
Рис. 1. Геолого-геохимическая модель образования цеолитов вулканогенно-осадочного типа [2, 5]:
1 – поступление пирокластики, 2 – обменные катионы, 3 – вода морского или озерного бассейна,
4 – неизмененное вулканическое стекло, 5 – цеолитизированное вулканическое стекло,
6 – геохимический барьер (pH = 8-8,5)



Эта реакция экзотермическая, и происходит она с уменьшением энтропии, так как сопровождается исчезновением жидкой или парообразной воды. Данная закономерность в полной мере проявляется при образовании природных цеолитов. Кроме того, температура дегидратации кальциевых систем всегда выше, чем натриевых. Поэтому кальциевые цеолиты обычно кристаллизуются при более высоких температурах. Этим объясняется следующая последовательность образования минеральных фаз в вулканогенно-осадочных толщах Северного Кавказа: вулканическое стекло – клиноптилолит или морденит (в зависимости от состава раствора). Клиноптилолит и филлипсит обычно является первой цеолитовой фазой в продуктах изменения стекловатого материала в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах. Морденит – это более термодинамически устойчивая фаза. Его образование происходит в обстановках, характеризующихся несколько повышенными температурами по сравнению с обстановками образования клиноптилолита. Реакции гидратации сопряжены с реакцией присоединения кремнезема:



Химический потенциал SiO_2 в системе является важным фактором, контролирующим образование цеолитов в природе. Если представить, что разложение морденита и клиноптилолита происходит по следующим реакциям:



то повышение активности H_4SiO_4 в растворах сдвинет эти реакции влево и расширит температурный интервал существования высококремнистых цеолитов. Поэтому, в условиях

повышенных температур, в вулканогенно-осадочных толщах высококремнистые цеолиты (морденит, клиноптилолит) преобладают над низкокремнистыми (шабазит).

Вулканогенно-осадочные цеолиты Северного Кавказа приурочены к среднеюрским (ааленским и байосским), меловым (средне-верхнеаптским и сеноманско-нижнетуронским), а также верхнеплиоценовым вулканогенно-осадочным породам.

Среднеюрские и меловые цеолитсодержащие породы формировались в морских условиях. Они содержат цеолиты (морденит и клиноптилолит) в количестве до 30%. Кристаллизация цеолитов происходила в пустотах массивных эффузивных пород и pillow-лав, а также в порах туфов и туффитов. Минералы, с которыми цеолиты ассоциируют – это кристобалит, халцедон, кварц, хлорит, гидрослюда, кальцит и другие низкотемпературные минералы. Формирование цеолитов осуществлялось в результате взаимодействия горячей лавы с водой окружающего бассейна, благодаря внедрению холодных морских вод в не остывшее магматическое или пирокластическое тело и воздействию их на вулканическое стекло. Цеолиты приурочены к основным и средне-кремнекислым эффузивам, их туфам и туффитам. Широкий диапазон температур и химического состава термальных растворов обусловил формирование в порах и пустотах нескольких минеральных видов цеолитов. Цеолиты кристаллизуются непосредственно из раствора при весьма незначительном участии метасоматических процессов. Породы цеолитизированы равномерно, поскольку магма и пирокластика накапливались в морском бассейне, и вода равномерно заполняла пустоты и поры в них.

Верхнеплиоценовые цеолитсодержащие туфы и игнимбриты формировались в озерных обстановках. Они распространены на площадях, повторяющих контуры палеобассейна, образуют пласты и характеризуются равномерным распределением в них цеолитов. Основной цеолит – термостойкий калиево-кальциевый клиноптилолит (18–30% объема породы). Набор аутигенных минеральных ассоциаций определяется составом и щелочностью окружающей водной среды.

Заключение

Цеолитсодержащие толщи вулканогенно-осадочного типа распространены в мире и представляют коммерческий интерес. На Северном Кавказе выделено 5 перспективных площадей распространения вулканогенно-осадочных цеолитсодержащих комплексов.

Первая площадь расположена на территории Апшеронского района Краснодарского края, на левобережье р. Пшеха, и протягивается от низовьев р. Тугупс до низовьев р. Хахопсе. Цеолитсодержащие (27–31% морденита) туфы андези-базальтов, залегают среди алевролитово-аргиллитовой толщи ааленского яруса.

Вторая площадь расположена в Туапсинском районе Краснодарского края, на Главном хребте, между горами Индюк и Семашко. Цеолитсодержащими (до 30% клиноптилолита и морденита) являются туфы дацитов и туфопесчаники ааленского яруса.

Третья площадь расположена на территории Республики Кабардино-Балкария, в долине р. Черек Безенгийский. Цеолитсодержащие (до 30% морденита) туфы андези-базальтов, залегают в толще байосского яруса.

Четвертая площадь расположена на территории Краснодарского края, в верховьях р. Сочи. Цеолитсодержащие (до 25% морденита) туффиты базальта, залегают в сеноманско-нижнетуронской толще.

Пятая площадь расположена на территории Республики Кабардино-Балкария. Цеолитсодержащие (до 30% клиноптилолита) образования распространены на водоразделах рек Чегем, Баксан, Куркужин, Каменка, Фандуко, в местах выхода на поверхность остатков покрова риолитовых туфолав, их туфов и игнимбритов, переходящих по периферии в туффиты, туфопесчаники и туфоконгломераты и трансгрессивно залегающих на поздне-плиоценовых псефитах, а также на более древних кайнозойских и меловых породах.

Средне-верхнеаптские цеолитсодержащие вулканогенно-осадочные породы залегают в районе между г. Армавиром, станциями Бесскорбной и Николаевской (Краснодарский край), на поверхность не выходят, а вскрыты буровыми скважинами на разведочных площадях [1]. Они бесперспективны для практического использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологические формации Западного Предкавказья / А.Г. Алексин, А.Н. Шарданов, Г.Т. Юдин и др. – М.: Наука, 1973. 285 с.
2. Нетрадиционные виды нерудного минерального сырья / У.Г. Дистанов, А.С. Филько. – М.: Недра, 1990. 321 с.
3. Хардигов А.Э. Литолого-фациальные особенности и условия образования палеогеновых цеолитсодержащих комплексов Восточного Предкавказья // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 2. С. 155–163.
4. Хардигов А.Э. Литолого-фациальные особенности и условия образования байосских цеолитсодержащих пород Северного Кавказа / Материалы ко 2-му Всероссийскому литологическому совещанию (18–20 декабря 2003 г.). – М., 2003. С. 76–79.
5. Хардигов А.Э. Цеолиты Северного Кавказа. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 2005. 224 с.
6. Хардигов А.Э., Агарков Ю.В. Геохимические особенности цеолитсодержащих пород Предкавказья // Геохимия. 2000. № 12. С. 1350–1355.
7. Хардигов А.Э., Бойко Н.И., Агарков Ю.В. Цеолиты Восточного Предкавказья и перспективы их практического использования // Известия вузов. Геология и разведка. 1992. № 6. С. 25–37.
8. Хардигов А.Э., Бойко Н.И., Агарков Ю.В. Цеолиты юга России // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 4. С. 389–399.
9. Хардигов А.Э., Бойко Н.И., Агарков Ю.В. О цеолитах юга России // Доклады РАН. 2000. Т. 371. № 5. С. 666–670.
10. Хардигов А.Э., Холодная И.А. Литолого-фациальные особенности и условия образования аптско-альбских отложений Западного Предкавказья // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 3. С. 241–251.
11. Хардигов А.Э., Холодная И.А. Об условиях образования апт-альбских отложений Западного Предкавказья // Доклады РАН. 2005. Т. 404. № 1. С. 80–83.
12. White F. Weazer C.M. Characteristics of natural glass and influences on associated water chemistry // Journal of Non-Crystalline Solids. 1984. Vol. 67. P. 225–244.

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Дроздов В.С., кандидат геолого-минералогических наук, доцент

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СОХРАНЕНИЯ ЦЕРКВИ ВСЕХ СВЯТЫХ НА КУЛИШКАХ В МОСКВЕ

Статья посвящается церкви Всех Святых на Кулишках, находящейся в центре Москвы, по адресу Славянская площадь, дом 2. Данная церковь является одним из наиболее древних сооружений в Москве. Геологические процессы привели ее в сложное, практически аварийное состояние. Проект спасения церкви вызвал научную дискуссию и до сих пор не принят.

Ключевые слова: нижний ярус, делювиальный снос, выветривание, неравномерная осадка, трещины, высолы, гниение дубовых свай.

Drozdzov V.S.

ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS FOR THE PRESERVATION OF THE CHURCH OF ALL SAINTS AT KULISHKI IN MOSCOW

The article is devoted to the Church of All Saints on Kulishki, located in the center of Moscow, at Slavyan-skaya Square, house 2. This church is one of the oldest buildings in Moscow. Geological processes have led to its difficult, almost, emergency condition. The project to save the church has sparked scientific debate and has not yet been adopted.

Keywords: lower tier, deluvial erosion, weathering, uneven settlement, cracks, efflorescence, rotting of oak piles.

Общие сведения

В летописях 1365 года церковь «Всех Святых» упоминается как уже существующая, то есть могла быть построена и значительно раньше. В 1488 году деревянная церковь была разобрана и на ее месте появился кирпичный храм. В 1687–1689 храм был перестроен и приобрел облик, близкий к современному (рис. 1). Предположительно, тогда же была сооружена звонница храма. В конце XVIII века в путеводителях по Москве появилось предположение о связи строительства храма с увековечиванием памяти воинов, погибших 8 сентября 1380 года на Куликовом поле.

Отметим некоторые элементы храма, которые упоминаются далее. Ряд окон в один ряд зовется ярусом; на фото их видно два, еще один, высотой 4 метра, находится под землей. Храм располагается по направлению восток-запад, колокольня, одна из наклонившихся московских «пизанских башен» находится на западе. Фото сделано с северной стороны. С западной стороны церкви находились земляные укрепления Москвы, внутри которых здесь располагался Китай-город. Сегодня это название носит станция метро, а кирпичная сохранившаяся часть Китайгородской стены находится рядом.

Итак, что же можно пронаблюдать или какое составить представление о некоторых геологических процессах и обстоятельствах, которые не видны с поверхности.



Рис. 1. Храм Всех Святых на Кулишках. Фото

Плоскостная эрозия и накопление делювия

Много десятилетий в сторону церкви происходил интенсивный перенос песчано-глинистого материала. С запада размывались земляные укрепления Китай-города, с северной стороны, куда круто повышается рельеф, тоже шел интенсивный снос делювиального материала. Даже историки особенно отмечают дождливые летние сезоны 1721 и 1786 годов, которые полностью «погрузили под землю» нижний ярус. К концу XVIII века глубина оценивалась в 3 метра, к концу XX – в 4. Для окрестностей Москвы такая мощность делювия – большая редкость. Обычно делювий представляет собой ценный природный объект как почвообразующий материал – он обладает высокой пористостью, влажностью и повышенным содержанием органики. За счет постоянного дополнительного приноса минерального и органического материала мощность почвенного слоя может получиться относительно большой для средне полосы России – превысить 1–3 метра и иметь повышенную мощность самого ценного компонента – корнеоби-таемого слоя.

Геологические условия площадки

Коренные дочетвертичные породы – относятся к верхнему отделу карбона. По составу – это глины, глубина залегания около 12 метров. Они же играют роль местного водопора.

Выше залегают четвертичные отложения. Это аллювий Москвы-реки и ее совсем небольшого притока – ручья Сорочка. По-видимому, ручей был настолько мал, что в свое время не мешал строительству храма, например, его русло могло быть отведено в сторону на несколько метров. В настоящее время малая река Сорочка полностью заключена в коллектор и впадает в Москву-реку неподалеку от рассматриваемого места. Глубина залегания кровли аллювиальных отложений составляет около 5 метров, по составу – песчано-глинистые отложения, непосредственно под храмом это среднезернистые пески и супеси. В этих отложениях находятся грунтовые воды, глубина залегания которых несколько больше глубины расположения подвала на отметке 4 метра от поверхности. Воды имеют хлоридно-гидрокарбонатно-калиево-натриево-кальциевый состав и не агрессивны по отношению к бетону.

Верхний слой – смешанные культурный слой (техногенные отложения) и делювиальные отложения. Эти породы были вскрыты со дна подвала храма и полностью представляют весь четырехметровый слой, перекрывающий нижний ярус сооружения, естественно обладая определенной неоднородностью. Итак, стены расположены на отложениях больше носящих внешность культурного слоя, вскрытой мощностью от 0,2 до 1,4 метра. По составу отложения представляют собой влажный песчано-глинистый материал с включениями органики, щебня и дресвы состава битого кирпича и песчанистого известняка. Имеются обломки простейших бытовых предметов, таких как фрагменты костей и керамики. Отдельно надо отметить, что встречаются захоронения и обломки надгробных плит.

Неравномерная осадка

Итак, в основании церкви обнаружены техногенные отложения (культурный слой) и неоднородные сильно насыщенные водой, оторфованные песчано-глинистые четвертичные отложения с присутствием мелких песков и супесей. Под небольшой по площади и высокой колокольной произошла неравномерная осадка и колокольня наклонилась – это видно на фото (рис. 1). Наклон из года в год увеличивается. В стенах всей постройки наблюдаются трещины. Напомним, что абсолютно равномерной осадки не бывает, неравномерность присутствует всегда, и если неравномерность велика, может произойти наклон части сооружения и растрескивание стен.

Состояние деревянных свай

Фундаменты сооружения кирпичные и опираются на естественные грунты. Для придания грунтам большей плотности использован старый, принятый в те времена метод – расположение фундамента на часто забитых дубовых сваях. Дубовые сваи были обнаружены под многими сооружениями в центре Москвы во второй половине XX века. Это была целая история. Как известно, в начале 1930-х годов в центре Москвы была сооружена первая линия метро. Линия была построена открытым способом вблизи поверхности и проходит от Большого театра к Государственной библиотеке прямо под Моховой улицей. Через некоторое время в части сооружений вблизи трассы метро стали появляться свежие крупные трещины. Были вскрыты фундаменты, и обнаружилось, что под этими сооружениями сильно прогнили дубовые сваи. Гниение свай связали с понижением уровня грунтовых вод, вызванным работой дренажа тоннелей метро. Сваи оказались выше уровня грунтовых вод в неблагоприятной области переменной влажности. Пострадавшие здания были скреплены мощными стальными балками. В начале 1970-х годов по тем же причинам было проведено укрепление оснований стен Московского кремля. С частотой в несколько десятков сантиметров под стены были пробурены наклонные скважины через которые закачивался цементный раствор, одновременно было выполнена замена внешнего слоя кирпича стен.

Метро близ храма Всех Святых проведено в 1960-е годы. Дубовые сваи имеют диаметр 12–25 см, частота расположения через 30–45 см, глубина погружения 1,2–1,9 м. Верхняя часть свай располагаются выше уровня грунтовых вод, нижняя уходит в зону насыщения, представленную мелкими и тонкими песками, в подвале отмечается запах насыщенной водой древесины, возможно, и здесь пошло гниение.

Выветривание стен и прочих элементов постройки. Высолы

Несколько сот лет после постройки и реконструкции не прошли даром для старого сооружения. По стенам везде видны следы антропогенного выветривания. Здесь использован новый термин применяемый в двух случаях – когда речь идет о выветривании строительных материалов или о выветривании только-что вскрытых свежих породах, склонных к быстрому выветриванию.

Выветривание стройматериалов происходит по схеме выветривания скальных пород – физическому, химическому и биологическому. Кирпич, как известно, обладает некоторой пористостью. Во время осадков или просто за счет влажности воздуха в поры попадает капиллярная вода, которая дает и легкое размокание, оказывает разрывающее действие при замерзании, и медленно

химически выщелачивает компоненты кирпича (ведь проходят столетия). Чем глубже проникают температурные колебания и вода, тем быстрее и сильнее развивается выветривание. Кстати, этим же по-видимому объясняется тот факт, что облицовочная плитка (даже гранит) толщиной в 2 см отскакивает от кирпича или бетона явно быстрее, чем когда она имеет толщину в 4 см.

Выветрелость кирпичной кладки стен видна уже при внимательном рассмотрении. Сразу бросаются в глаза сглаженные ребра и углы и особый «состарившийся» вид поверхности брусков кирпича, часто видно его шелушение. На не покрашенных поверхностях кирпича встречаются высолы. Этим термином именуется слой солей, вымываемый из кирпича влагой. Слой тонкий, белёсый, может покрывать значительные площади стен и является точным признаком неблагоприятного процесса.

Мероприятия по сохранению памятника

В 1931 году храм был закрыт Советской властью и вновь открыт в 1991 году указом президента Б.Н. Ельцина о возвращении Церкви ее прежних владений. В 1990-е годы неоднократно поднимались разговоры о необходимости обследования состояния храма и реставрации, если это потребуется. В 2000-е годы такие обследования проводились и экспертиза пришла к тревожным выводам. Стены нижнего яруса очень ослаблены, сильно страдают от расположения ниже поверхности земли, уменьшилась их несущая способность.

К 2009 году было выполнено укрепление основания и стен церкви, разработан проект ее подъема на 4 метра. По периметру церкви, по глубине нижнего яруса, был сделан раскоп шириной в 1 метр, то есть удален грунт и поставлено ограждение. Получился технологический зазор. Был разобран старый фундамент, в грунт вдавлены железобетонные сваи, под здание подведен сплошной стальной пояс и поставлены домкраты.



Рис. 2. Храм всех Святых на Кулишках. Схема, разрез с юго-восточной стороны

С начала работ и по мере их проведения начала разворачиваться дискуссия о возможности и допустимости проведения намеченного. Появились противники проекта, опасавшиеся, что при подъёме в здании возникнут новые трещины. Привлекались разные эксперты, самым известным из которых был профессор Московского геологоразведочного университета Е.М. Пашкин – человек, всю жизнь борющийся и спасший множество древних сооружений по всей стране. В начале 2020-х годов было проведено много совещаний о дальнейшей судьбе церкви. Главный вопрос – поднимать или не поднимать церковь? Участвовали сторонники, противники подъёма и представители священнослужителей, которые очень осторожно высказывались и постепенно

вообще прекратили посещение совещаний. Подъем здания церкви не был выполнен, вопрос остается открытым.

На рисунке 2 хорошо виден проект подъёма. Подземный этаж стал бы первым, а освободившееся пространство и подвал можно было бы использовать для нужд церкви.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карпенко Н.П.* Руководство по учебной практике по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности – геологическая: учебное пособие / Н.П. Карпенко, И.М. Ломакин, В.С. Дроздов. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2020. – 101 с.

Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Кубраков Д.В., нач. отдела¹, аспирант²
(¹Алтайский центр недвижимости и государственной кадастровой оценки;
²Алтайский государственный аграрный университет)
Жигулина Т.Н., кандидат экономических наук, доцент
(Алтайский государственный аграрный университет)

СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ В МАССОВОЙ (КАДАСТРОВОЙ) ОЦЕНКЕ

В статье рассматривается предлагаемая система моделей системы внешней среды объектов недвижимости, построенная на принципах стратификационного подхода. Модели построены с использованием факторов стоимости на основе рыночных данных о цене предложения более, чем 23 тысяч квартир на рынке недвижимости в Алтайском крае. Предлагаемая система моделей внешней среды объектов недвижимости включает три типа моделей: модель внешней среды объектов недвижимости построена для воспроизводства величины рыночных цен предложения квартир на рынке недвижимости Алтайского края; модель определения кадастровой стоимости с учетом факторов внешней среды разработана с целью повышения качества прогнозной силы моделей и, следовательно, результатов определения кадастровой стоимости; модель учета действия факторов внешней среды для определения внешнего (экономического) устаревания/прибыли предпринимателя при определении кадастровой стоимости.

Ключевые слова: государственная кадастровая оценка, методика, внешняя среда объектов недвижимости, факторы, система моделей.

Kubrakov D.V.
Zhigulina T.N.

SYSTEM OF EXTERNAL ENVIRONMENT FACTORS MODELS FOR REAL ESTATE IN MASS (CADASTRAL) VALUATION

The article discusses a proposed system of models for the external environment of real estate, built on the principles of a stratification approach. The models are constructed using value factors based on market data regarding the asking prices of over 23,000 flats in the real estate market of the Altai Krai. The proposed system of models for the external environment of real estate includes three types of models: a model of the external environment of real estate designed to reproduce the magnitude of market asking prices for flats in the Altai Krai real estate market; a model for determining cadastral value that takes into account external environmental factors, developed to enhance the predictive power of the models and, consequently, the results of cadastral value determination; and a model for accounting for the influence of external environmental factors to determine external (economic) obsolescence/profit for entrepreneurs when establishing cadastral value.

Keywords: state cadastral valuation, methodology, external environment of real estate, factors, system of models.

Постановка проблемы

Современный уровень сформированности теории массовой оценки недвижимости закрепил устойчивые представления об объекте и предмете изучения, методологии и методике определения стоимости, вместе с тем выявив необходимость теоретического осмысления

и практической реализации таких ее аспектов, которые принимались ранее постулятивно. К настоящему времени в теории и практике массовой оценки недвижимости довольно активно и глубоко изучены ценообразующие факторы, используемые в оценке больших групп объектов недвижимости [1, 6], принципы выбора объектов-аналогов в целях массовой оценки [2], методы и модели определения стоимости [3], особенности проведения массовой оценки различных типов объектов недвижимости [4] и другие аспекты.

На фоне такого разнообразия исследований наименее изученным остается феномен внешней среды системы объектов недвижимости, в том числе его роль в формировании кадастровой стоимости объектов недвижимости. Проведенный критический анализ Методических указаний о государственной кадастровой оценке [7] показал недостаточность учета действия факторов внешней среды объектов недвижимости, что потенциально может снижать качество определения кадастровой стоимости. Решением выявленной проблемы может стать внедрение системы моделей внешней среды объектов недвижимости.

Методология и методы исследования

В основу построения системы моделей положена теория иерархических систем, а именно метод стратификации, предложенный М. Месаровичем.

Система моделей построена на принципах стратификационного подхода, приветствующего как можно большую независимость моделей для различных уровней системы. Построение моделей проведено на двух уровнях: макроскопическом и микроскопическом. На макроскопическом уровне строится экономико-статистическая модель рыночной стоимости объектов недвижимости исходя из допущения, что только внешняя среда как система формирует рыночную стоимость объектов недвижимости.

На микроскопическом уровне строятся модели отдельных элементов изучаемой системы: экономико-статистическая модель определения внешнего (экономического) устаревания (прибыли предпринимателя) для определения кадастровой стоимости затратным подходом, экономико-статистическая модель расчета кадастровой стоимости с учетом действия факторов внешней среды, реализованная в сравнительном подходе.

Результаты и их обсуждение

Участие внешней среды в формировании кадастровой стоимости многоаспектно: это описание факторов внешней среды, опосредованно влияющих на определение стоимости; непосредственное включение факторов внешней среды в качестве ценообразующих при построении моделей кадастровой стоимости; моделирование результата действия внешней среды (внешнего устаревания или прибыли предпринимателя) при определении кадастровой стоимости.

В связи с необходимостью решения такой многоаспектной задачи, нами разработана система моделей внешней среды объектов недвижимости.

Модели построены с использованием факторов стоимости, выявленных нами на этапе характеристики условий внешней среды системы объектов недвижимости в Алтайском крае на основе статистических данных. Для построения моделей использованы рыночные данные о цене предложения более, чем 23 тысяч квартир на рынке недвижимости в Алтайском крае по состоянию на 01.01.2022 года.

Предлагаемая нами система моделей внешней среды объектов недвижимости включает три типа моделей, описанных ниже.

1. Модель внешней среды объектов недвижимости построена для воспроизводства величины рыночных цен предложения квартир на рынке недвижимости Алтайского края. Использование модели в системе государственной кадастровой оценки позволит характеризовать развитость внешней среды объектов недвижимости на территории региона в зависимости от величины рыночной стоимости жилой недвижимости (квартир).

Система моделей внешней среды объектов недвижимости для целей государственной кадастровой оценки в условиях Алтайского края

Формула модели	Факторы модели	Алгоритм построения модели
Модели внешней среды объектов недвижимости – построены для воспроизводства величины рыночной стоимости квартир на рынке недвижимости Алтайского края		
$\text{УПРС} = 1,011 \times X_1^{0,204} \times X_2^{0,078} \times X_3^{0,217} \times X_4^{0,135} \times X_5^{0,062} \times X_6^{0,170} \times X_7^{0,106} \times X_8^{0,085}$, где 1,011 – свободный член уравнения, X_1 – общая площадь земель муниципального образования, X_2 – средняя численность населения в муниципальном образовании, X_3 – затраты на охрану окружающей среды в муниципальном образовании, X_4 – объем продовольственных товаров, реализованных в муниципальном образовании, X_5 – инвестиции в основной капитал, осуществляемые организациями, находящимися на территории муниципального образования (без субъектов малого предпринимательства). Собственные средства, X_6 – в основной капитал, осуществляемые организациями, находящимися на территории муниципального образования (без субъектов малого предпринимательства). Бюджетные средства, X_7 – количество населенных пунктов, не имеющих водопровод в муниципальном образовании, X_8 – количество выданных разрешений на ввод объектов в эксплуатацию в муниципальном образовании.	1) формирование оценочной группы «квартиры в сельских населенных пунктах»; 2) подбор и корректировка объектов-аналогов (на торг, дату оценки) для построения модели; 3) подбор факторов внешней среды в качестве ценообразующих и дополнение ими перечня объектов-аналогов; 4) построение корреляционно-регрессионной модели, проверка ее статистической значимости.	
Модели определения кадастровой стоимости с учетом факторов внешней среды – построены с целью повышения качества прогнозной силы модели определения кадастровой стоимости за счет включения факторов внешней среды Алтайского края		
$\text{УПКС} = e^{(0,593 \times (X_1 + 1,34) \times (X_2 + 0,816) \times (X_3 + 2,03) \times (X_4 + 0,457) \times (X_5 + 0,671) \times (X_6 + 0,0000146) \times (X_7 + 0,000288) \times (470,0 + 17,0 - X_8)) + 0,000729 \times X_{10} + 0,00000933 \times X_{11})}$, где 29,52 – свободный член уравнения, X_1 – класс конструктивной системы, X_2 – год постройки, X_3 – площадь, X_4 – статус НП, X_5 – этажность, X_6 – наличие в населенном пункте центрального газоснабжения, X_7 – численность населения в населенном пункте, X_8 – расстояние до административного центра, X_9 – введено в действие индивидуальных жилых домов в муниципальном образовании, X_{10} – количество объектов розничной торговли и общественного питания, X_{11} – среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников крупных, средних предприятий и некоммерческих организаций в муниципальном образовании.		1) формирование оценочных групп 1 функциональной группы на территории региона; 2) подбор и корректировка объектов-аналогов (на торг, дату оценки) для построения модели; 3) подбор ценообразующих факторов с включением факторов внешней среды и дополнение перечня объектов оценки и объектов-аналогов значениями факторов; 4) построение корреляционно-регрессионной модели, проверка ее статистической значимости.

Таблица 1 (окончание)

Формула модели	Факторы модели	Алгоритм построения модели
Модель учета действия факторов внешней среды для определения внешнего (экономического) устаревания/прибыли предпринимателя при определении кадастровой стоимости построены с целью расчета значений указанных величин при определении кадастровой стоимости объектов недвижимости затратным подходом. $BU = 13,16 \times e^{(0,0005 \cdot X_1 + 0,0033 \cdot X_2 + 0,5134 \cdot X_3 + 0,00002 \cdot (18759,95 + 37,05 \cdot X_4) + 0,0000005 \cdot (49224,00 + 5823,00 \cdot X_5))}$, где 13,16 – свободный член уравнения, X_1 – расстояние от центра населенного пункта до центра города Барнаула, X_2 – расстояние от центра населенного пункта до центра муниципального образования, X_3 – статус населенного пункта, код, X_4 – численность населения в населенном пункте, X_5 – численность населения в муниципальном образовании.	1) выделение групп объектов недвижимости на территории региона. Территориальные группы объектов недвижимости следует выделять по принципам расположения: в административном центре региона, в городских населенных пунктах (за исключением города – административного центра региона), в сельских населенных пунктах, в садоводческих и огороднических объединениях, расположенных за пределами границ населенных пунктов, в границах муниципальных образований (если отсутствует возможность идентификации объекта недвижимости до конкретного населенного пункта), в границах региона (если отсутствует возможность идентификации объекта недвижимости до конкретного муниципального образования); 2) проведение расчета рыночных величин внешнего (экономического) устаревания на основе скорректированных рыночных цен предложения объектов недвижимости; 3) проведение моделирования величин внешнего (экономического) устаревания на основе подобранного набора факторов; 4) внесение дифференцирующих корректировок к величине внешнего (экономического) устаревания в зависимости от принадлежности к функциональной группе объекта недвижимости.	

2. Модель определения кадастровой стоимости с учетом факторов внешней среды разработана с целью повышения качества прогнозной силы моделей и, следовательно, результатов определения кадастровой стоимости. Для этого в модель определения кадастровой стоимости квартир в сельских населенных пунктах Алтайского края, построенную нами в оценочной кампании 2023 года при проведении государственной кадастровой оценки зданий, помещений, сооружений, объектов незавершенного строительства, машино-мест, учтенных в Едином государственном реестре недвижимости на территории Алтайского края, были введены дополнительно факторы внешней среды. Это позволило увеличить расчетные значения коэффициента детерминации модели с 0,62 до 0,69, что увеличило прогнозную силу модели на 7%.

3. Модель учета действия факторов внешней среды для определения внешнего (экономического) устаревания/прибыли предпринимателя при определении кадастровой стоимости – построена с целью расчета величин внешнего (экономического) устаревания /прибыли предпринимателя на основе ограниченного количества рыночных данных о величинах этих явлений. В результате смоделированы значения величины внешнего (экономического) устаревания для 1593 сельских населенных пунктов, которые в дальнейшем использованы при определении кадастровой стоимости объектов недвижимости в оценочной кампании 2023 года при проведении государственной кадастровой оценки зданий, помещений, сооружений, объектов незавершенного строительства, машино-мест, учтенных в Едином государственном реестре недвижимости на территории Алтайского края.

Система моделей внешней среды наряду с системой научно-теоретических представлений, классификационной схемой (матрицей) факторов внешней среды для целей классификации факторов в условиях различных регионов Российской Федерации; примерным перечнем факторов внешней среды, полученным нами при использовании классификационной схемы, опубликованных нами ранее [5, 6] составляет основу концепции изменений методических указаний о государственной кадастровой оценке в части учета внешней среды.

Заключение

Таким образом, предложенная система моделей внешней среды объектов недвижимости позволяет изучить внешнюю среду как систему в целом, приняв допущение, что только факторы внешней среды формируют стоимость объектов недвижимости; рассмотреть отдельные аспекты функционирования внешней среды, когда кадастровая стоимость формируется в том числе с участием факторов внешней среды; смоделировать значения внешнего (экономического) устаревания и прибыли предпринимателя, как результата жизнедеятельности внешней среды для дальнейшего использования при определении кадастровой стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердникова В.Н., Осенняя А.В., Хахук Б.А. Построение качественной модели оценки кадастровой стоимости недвижимости // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 2. С. 73–84.
2. Быкова Е.Н., Волкова Я.А., Сулин М.А., Морозов А.В., Шемелина К.Э. Метод временной экстраполяции рыночных данных для кадастровой оценки земель в условиях малоразвитого рынка // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 11. С. 40–49.
3. Гаврилова А.С. Использование квалитетической модели в сравнительном подходе // Вопросы оценки. 2015. № 2 (80). С. 24–32.
4. Дереченик Н.Г., Соловьева В.А., Спонякова Д.Д. Определение зон моделирования кадастровой стоимости земель сельских населенных пунктов республики Беларусь // Земля Беларуси. 2021. № 3. С. 49–59.
5. Жигулина Т.Н., Мерецкий В.А., Кубраков Д.В., Боронина Н.Ю., Лебедева Л.В. Развитие методики оценочного зонирования в системе государственной кадастровой оценки на основе

статистического анализа // Геодезия и картография. 2025. № 1. С. 53–63. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1015-1-53-63.

6. Жигулина Т.Н., Мерецкий В.А., Кубраков Д.В., Боронина Н.Ю., Лучникова Н.М. Построение матриц транспортной доступности для учета фактора местоположения при массовой (кадастровой) оценке земель крупного города [Текст]: статья // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2023. Т. 67. № 6. С. 72–87. DOI:10.30533/GiA-2023-049.
7. Методические указания о государственной кадастровой оценки, утвержденные приказом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) от 04.08.2021 № П/0336.

*Майорова О.В., кандидат геологических наук, доцент
(Государственный университет по земле-
устройству)*

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ГИС-ТЕХНОЛОГИЯХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В статье рассматриваются новые подходы в ГИС-технологии с учетом активного наземного мониторинга. Анализируются причины нецелевого использования земель сельскохозяйственного назначения. Обосновывается вывод о совместном использовании и состыковке результатов наземного мониторинга и ГИС-технологий.

Ключевые слова: ГИС-технология, наземный мониторинг, учет информации об водных объектах и полезных ископаемых, археологические объекты, новые подходы в ГИС-технологиях.

Mayorova O.V.

NEW APPROACHES TO GIS-TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE

This article examines new approaches to GIS-technology, taking into account active ground monitoring. The causes of agricultural land misuse are analyzed. The conclusion regarding the combined use and integration of ground monitoring and GIS-technologies is substantiated.

Keywords: GIS-technology, ground monitoring, recording information about water bodies and minerals, archaeological sites, new approaches in GIS-technologies.

По прогнозам ООН численность населения земного шара постоянно увеличивается, при этом продовольственная безопасность становится весьма актуальной и в решении этой задачи важное место отводится ГИС-технологиям, которые обеспечивают точной информацией о состоянии земель сельскохозяйственного назначения, что в перспективе обосновывает прогноз урожайности сельхоз культур.

ГИС-технологии позволяют достичь в сельском хозяйстве устойчивости развития и оперативно обеспечить рентабельность. В последние годы наблюдается периоды экстремальной погоды, что вызывает гибель посевов и соответственно снижение урожайности. В связи с чем приобретает актуальность и возврат к тематическим картам.

ГИС-технологии способствуют переходу к цифровизации АПК, объединения в себе связь спутниковых снимков с датчиками, дроны и другими системами, что в совокупности позволяют получать и анализировать текущие данные в режиме реального времени.

Необходимо отметить, что в условиях оперативной динамики биологического развития растения, неожиданного появления сельхозвредителей, засухи, не соблюдения по разным причинам агрономических технологий, а также колебания рыночных цен ГИС-технологии позволяют прогнозировать возможные сценарии и принимать обоснованные решения, что способствует снижению рисков добываясь при этом получения качественного урожая.

ГИС-технологии позволяют в совокупности с данными землеустройства наметить поля севооборотов, проектировать размещение новых мелиоративных систем, осуществить реконструкцию существующих мелиоративных систем. Применять точно минеральные удобрения в совокупности с гербицидами и пестицидами, восстановить лесополосы, что позволяет осуществлять пространственное планирование размещения сельскохозяйственных культур и добиться эффективного землепользования.

Исследования Суслова С.В. выявили, что на качество питьевой и поливной воды, особенно в сельском хозяйстве влияют сезонные факторы и антропогенная деятельность человека,

особенно неблагоприятно влияют на качество воды стоки с животноводческих ферм и особенно коттеджная застройка в водоохранной зоне [1,2]. ГИС-технологии позволяют выявлять вышеуказанные негативные явления в начальной стадии и наблюдать их динамику.



Рис. 1. Сброс животноводческих стоков по краю поля с пашни на дорогу

Также наблюдается некачественное выполнение посевных работ, что выражается в прогалинах и пустырях в противоположной стороне от шоссейных дорог (рис. 1). А вдоль шоссейных дорог сельхозтоваропроизводители наводят красоту. В последние годы необходимо также наносить на карты информацию, расположение водных объектов (ручьи, родники, озера, речушки, болота). Данная информация по водным объектам позволит сельхозтоваропроизводителям оперативно решать проблемы с поливом сельскохозяйственных культур.

В последние 10 лет возникла проблема переработки твердых бытовых отходов (ТБО). Хотя в последние годы ситуация с ТБО решается положительно со строительством специальных полигонов [3,4,5,6]. ГИС-технологии в большинстве своем базируются на космоснимках и это позволяет видеть нарушение целевого использования сельскохозяйственных земель. Укрупненное наземное обследование, проведенное нами в районе сельскохозяйственных полей дер. Ельдигино в начале сентября 2026 года в Пушкинском городском округе Московской области, выявили нарушения, которые невозможно выявить при помощи ГИС-технологий. А именно животноводческие стоки, которые недобросовестные сельхозтоваропроизводители выливают их вдоль проселочных дорог подальше от асфальтированных дорог. Для снижения негативного влияния этих стоков на почву Папаскири Т.В. и др. рекомендует устройство лесополос вдоль дорог [7].

По нашему мнению, вышеуказанная информация содержащая данные о рельефе, гидрографии, водных объектах, почвенно-растительного покрова, чередовании сельскохозяйственных культур в севообороте и др. позволяют создать единую географически взаимосвязанную картину пространственных данных, что позволяет выявить потенциал сельских территорий.

Также необходимо разместить информацию и местоположение по архитектурным памятникам, городищам, руинам, крепостным стенам и т.д. В таких случаях археологи после раскопок для сохранения памятников и их консервации для будущих исследователей чаще всего засыпают места раскопок древних сооружений. Кроме того, необходимо предусмотреть на отдельных

слоях карты размещение информации о законсервированных археологических памятниках старины.

Также необходимо предусмотреть в новых информационных слоях ГИС-нанесения информации о полезных ископаемых. Они части находятся не глубоко, и их добыча в перспективе может осуществляться открытым способом, в связи с чем на таких территориях необходимо предусмотреть сборно-разборную конструкцию блочного типа, то есть легко собираемую и разбираемую, позволяющую быстро перемещать, не создавая на данной территории капитальных строений. Параллельно совершенствованию новых подходов в ГИС-технологий в сельском хозяйстве идет процесс цифровизации АПК, в перспективе эти процессы скорее всего объединятся [8], а также актуализируются проблемы с поливами сельскохозяйственных культур и территориальном планировании сельских территорий [9,10].

Немаловажно также при использовании ГИС-технологий не забывать основные элементы землеустройства – планировки территории длиннобазовыми планировщиками. Сельхозтоваропроизводители при поливе иногда размещают временные сооружения в том числе навозохранилище. Таким образом, новые подходы в развитии ГИС-технологий заключаются в состыковке их с активным наземным мониторингом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Папаскири Т.В., Бойценюк Л.И., Груздев В.С., С.В. Суслов, Хрусталева М.А., Медведев К.Е. // Влияние сельскохозяйственного использования земель на водосборах малых рек на загрязнение вод химическими элементами. Москва. Международный сельскохозяйственный журнал. № 5. 2025 с. 441-444.
2. Груздев В.С., Суслов С.В. Изменение состава и структуры компонентов ландшафтов лесной зоны в условиях техногенеза. М.: ООО НИЦ «Инфра-М», 2023. – 180 с.
3. Майорова О.В. Формирование, освоение, и переработка техногенных ресурсов в России. М.: Издательство «Георесурс», 2014. - 462 с.
4. Майорова О.В., Ильина Е.В. Оценка природно-ресурсного потенциала и технических ресурсов России. М. – 2017. - 371 с.
5. Майорова О.В., Аллазова С.С. Эколого-организационные принципы управления региональной системой обращения с твердыми коммунальными отходами. М.: Георесурс, 2019. - 400 с.
6. Майорова О.В., Майоров А.Н. Принципы использования ГИС-технологий для предупредительного мониторинга несанкционированных свалок. Актуальные вопросы современной науки / Сборник статей по материалам XI международной научно-практической конференции (г. Томск) в 2 ч. Ч. 2 / - Уфа: Издательство Дендра, 2018. – С. 323-330.
7. Папаскири Т.В., Замана С.П., Ананичева Е.П., Богданчиков И.Ю., Липски С.А., Митрофанов С.В., Суслов С.В., Шевчук А.А. Методика проектирования агролесомелиоративных мероприятий: информационное обеспечение и организационно-экономический механизм реализации. М. ФГБОУ ВО «ГУЗ», НИУ «ВШЭ». 2024. – 52 с.
8. Суслов С.В., Безбородов Ю.Г., Безбородов А.Г. Практикум по цифровизации АПК. – М.: Издательство «Спутник+», 2026. – 181 с.
9. Стафийчук И.Д., Хисамов Р.Р., Безбородов Ю.Г. Территориальное планирование. Научная основа и практика /- М: Российский государственный аграрный университет, 2024. – 190 с.
10. Безбородов Ю.Г. Теория и практика полива сельскохозяйственных культур/ - Ташкент: АО «Агросаноат ахборти», 1998. – 98 с.

Геоэкология

Семенова И.Н., доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник

Кужина Г.Ш., кандидат биологических наук, доцент

(Сибайский институт (филиал) Уфимского университета науки и технологий)

Кужина И.Р.

(Уфимский университет науки и технологий)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.11

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МЕДНО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ВИШНЁВСКОЕ» (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

Интенсивная разработка Вишнёвского золото-медно-цинкового месторождения (Республика Башкортостан) сопровождается формированием техногенных массивов, являющихся потенциальным источником загрязнения почв тяжёлыми металлами. Специфика объекта исследования определяется выраженной минералогической зональностью руд. Установлено, что валовое содержание большинства элементов не превышало нормативы. Исключением являлся марганец, достигающий уровня ПДК в южном и западном секторах непосредственно у отвалов. Подвижные формы всех исследованных металлов соответствовали гигиеническим нормативам. Пространственное распределение аномалий носит мозаичный характер. Суммарный показатель загрязнения классифицировал уровень опасности почв как допустимый. Выявлено накопление ряда элементов на расстоянии 1000 м к востоку от карьера. Почвы территории характеризуются экологической устойчивостью благодаря высоким буферным свойствам региональных черноземов и короткому сроку эксплуатации месторождения. Рекомендуется включить марганец в приоритетный список мониторинга и рассмотреть расширение санитарно-защитной зоны в восточном направлении для предотвращения латеральной миграции поллютантов.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, почва, медно-колчеданное месторождение, суммарный показатель загрязнения.

Semenova I.N.

Kuzhina G.Sh.

Kuzhina I.R.

ASSESSMENT OF POLLUTION OF SOILS WITH HEAVY METALS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE VISHNEVSKOE COPPER-PYRITE DEPOSIT (REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

Intensive development of the Vishnevskoye gold-copper-zinc deposit (Republic of Bashkortostan) is accompanied by the formation of man-made massifs, which are a potential source of heavy metal soil contamination. The specific nature of the study site is determined by the pronounced mineralogical zoning of the ores. It was established that the gross content of most elements did not exceed standards. The exception was manganese, which reached the MAC level in the southern and western sectors directly adjacent to the waste dumps. Mobile forms of all studied heavy metals complied with hygienic standards. The spatial distribution of anomalies is mosaic. The total contamination index classified the soil hazard level as acceptable. Accumulation of several

elements was detected 1000 m east of the quarry. The soils of the area are characterized by environmental stability due to the high buffering properties of regional chernozems and the short life of the deposit. It is recommended to include manganese in the priority monitoring list and consider expanding the sanitary protection zone in an easterly direction to prevent lateral migration of pollutants.

Keywords: heavy metals, soil, copper-pyrite deposit, total pollution index.

Введение

Интенсивная разработка медно-колчеданных месторождений Хайбуллинского района Республики Башкортостан предприятиями-недропользователями (Бурибаевский горно-обогатительный комбинат, ООО «Башкирская медь») сопровождается формированием значительного объема отходов добычи и обогащения руд. Накопленные техногенные массивы выступают долгосрочными источниками поступления тяжелых металлов (ТМ), инициируя процессы химического загрязнения почвенного покрова прилегающих территорий [1]. При этом степень экологической опасности во многом определяется минеральным составом руд конкретных объектов.

Одним из наименее изученных с эколого-геохимической точки зрения является Вишнёвское золото-медно-цинковое месторождение. Открытое в 1991 году и находящееся в промышленной эксплуатации с 2010 года, оно расположено в южной части Баймакского рудного района, в 40 км к северу от с. Акъяр. Специфика объекта заключается в выраженной минералогической зональности: наряду с повсеместно развитыми медными рудами, Восточная залежь характеризуется высокой концентрацией полиметаллических (медно-цинковых) руд [2], что потенциально формирует различные по составу и миграционной способности ореолы рассеяния токсикантов.

Почвенный покров выполняет функцию депонирующей среды и служит наиболее чувствительным индикатором техногенной трансформации урбанизированных и промышленных территорий, напрямую коррелируя с рисками для здоровья населения [3]. Несмотря на промышленную значимость Вишнёвского месторождения, мониторинговые наблюдения за состоянием педосферы в зоне его влияния носят фрагментарный характер, что определяет высокую актуальность систематических исследований.

Целью настоящей работы является оценка уровня химического загрязнения ТМ почвенного покрова в зоне воздействия горно-обогатительного комплекса «Вишнёвское». Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определить валовое содержание и подвижные формы приоритетных поллютантов (Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Co, Pb, Cd) в фоновых и импактных почвах.
2. Выявить пространственную структуру ореолов рассеяния металлов относительно промплощадки и границ населенных пунктов.
3. Оценить степень экологического риска и уровень накопления элементов в сопряженных компонентах ландшафта.
4. Разработать научно обоснованные рекомендации по минимизации негативного воздействия предприятия на окружающую среду и улучшению экологической обстановки в районе изысканий.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились в летний период 2025 г. на территории Вишнёвского медно-колчеданного месторождения. Пробоотбор почвенного покрова осуществлялся в соответствии с нормативными требованиями ГОСТ 17.4.3.01-2017 [4], ГОСТ 17.4.4.02-2017 [5] и ГОСТ Р 58595–2019 [6], регламентирующими отбор проб в зонах потенциального общего и локального загрязнения.

Исследования проводились на черноземах обыкновенных степной зоны Зауралья. Почвенный разрез достигает глубины 60 см и имеет характерную языковатую форму, часто с плотным сложением. Верхний гумусовый слой окрашен в темно-серый цвет с бурым отливом,

а его структура отличается обилием щебня и крупных глыб. Почвы преимущественно тяжелые по механическому составу (легкоглинистые и тяжелосуглинистые). В то же время встречаются участки с повышенным содержанием карбонатов или признаками солонцеватости [7].

Метеорологическая обстановка лета 2025 г. характеризовалась отсутствием аномальных осадков или засухи.

Схема мониторинга включала заложение площадок отбора непосредственно у источника загрязнения (ИЗ - отвалы горных пород), а также на дистанциях 500 и 1000 м по румбам северо-восточного, юго-восточного, юго-западного и северо-западного секторов для учета розы ветров. На каждой мониторинговой площадке из одного или нескольких генетических горизонтов методом конверта отбирались точечные пробы массой не менее 400 г каждая. Формирование объединенной пробы производилось путем тщательного квартования смешанных образцов, отобранных с глубины слоя 0–20 см.

Лабораторный анализ выполнялся на базе центральной химической лаборатории ООО «Башкирская медь». Определение валового содержания тяжелых металлов (ТМ) и их подвижных форм (экстрагируемых аммонийно-ацетатным буфером с pH 4,8) проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС). Погрешность измерений контролировалась посредством анализа стандартных образцов состава почвы чернозема типичного ГСО 2507–83/2509–83 [8].

Оценка экологического состояния

Интерпретация полученных данных базировалась на сопоставлении фактических концентраций элементов с региональными фоновыми значениями и нормативами качества:

- Валовое содержание: Fe сравнивалось с кларком литосферы (25 000 мг/кг) [9]; с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) – Mn (1500 мг/кг) и Co (50 мг/кг); с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) – Cu (132 мг/кг), Zn (220 мг/кг), Pb (130 мг/кг), Cd (2 мг/кг) и Ni (80 мг/кг) [10].
- Подвижные формы: сравнение проводилось с ПДК: Cu (3 мг/кг), Zn (23 мг/кг), Ni (4 мг/кг), Co (5 мг/кг), Mn (140 мг/кг), Cd (0,5 мг/кг), Pb (6 мг/кг) [10]. Для подвижной формы Fe использовалось значение регионального геохимического фона (РГФ) – 3800 мг/кг [11].

Для оценки загрязнения почв использовали суммарный показатель (СПЗ) Z_c и коэффициент техногенной концентрации K_c . Уровень экологической опасности находится в прямой зависимости от объема превышения ПДК или ОДК (кларк) загрязняющих веществ. Коэффициент техногенной концентрации представляет собой отношение фактической концентрации конкретного элемента в загрязненной почве к предельно или ориентировочно допустимой концентрации, либо к значению кларка. Процесс накопления характерен для элементов с $K_c > 1$, а тенденция к рассеиванию – менее 1,5.

Суммарный показатель рассчитывали по формуле:

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) - (n - 1),$$

где Z_c – суммарный показатель загрязнения ТМ; K_c – коэффициент концентрации металла, n – число суммируемых элементов. Рассчитанные значения Z_c позволяли охарактеризовать загрязнение почвы по степени опасности: при $Z_c < 16$ загрязнение считается допустимым; 16–32 – умеренно опасным; 32–128 – опасным; $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасным [12].

Результаты и обсуждение

Валовое содержание тяжелых металлов

Пространственная изменчивость валового содержания изученных элементов представлена на рис. 1. Установлено, что концентрации Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Co и Fe во всех точках опробования находятся ниже установленных нормативов (ОДК/ПДК). Исключением выступает Mn: его концентрация в почвах южного и западного секторов непосредственно у источника загрязнения

достигает уровня ПДК, что свидетельствует о локальном аэротехногенном переносе пыли с отвалов вскрышных пород по направлению преобладающих ветров [13].

По уровню среднего валового содержания элементы образуют следующий убывающий ряд: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd. Доминирование железа и марганца обусловлено их высоким кларком в литосфере и принадлежностью к основным компонентам вмещающих вулканогенных пород Баймакского рудного района. Высокие позиции меди и цинка подтверждают специфику сульфидного оруденения объекта, несмотря на отсутствие экстремальных значений техногенного генезиса.

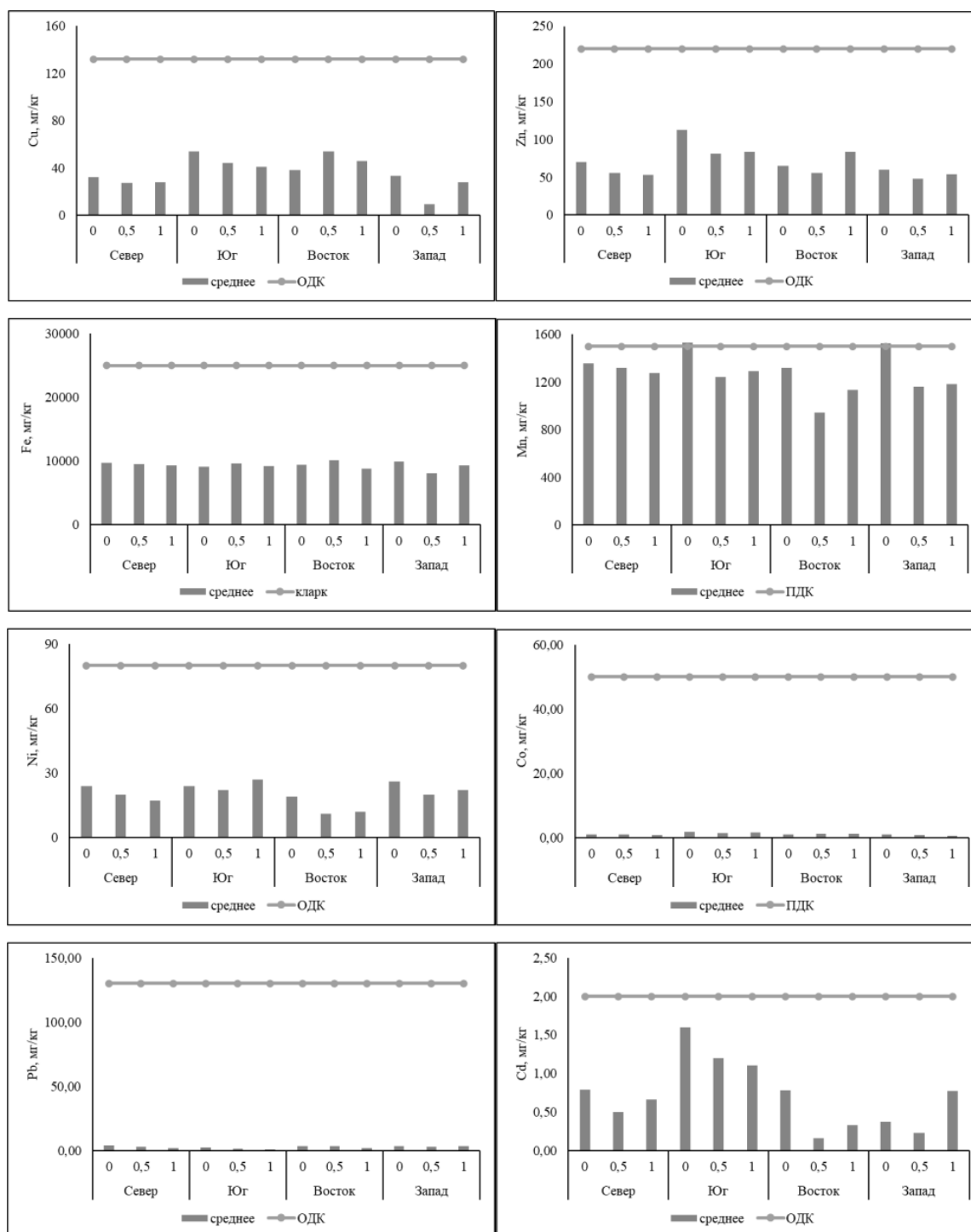


Рис. 1. Пространственная изменчивость валового содержания тяжелых металлов в почвах окрестностей Вишнёвского месторождения Хайбуллинского района Республики Башкортостан

Подвижные формы тяжелых металлов

Динамика среднего содержания подвижных форм ТМ отражена в табл. 1. Концентрация всех элементов в данной фазе также не превысила установленные ПДК и РГФ для железа.

Таблица 1

Пространственная изменчивость содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах окрестностей Вишнёвского месторождения Хайбуллинского района Республики Башкортостан

Направление	Расстояние от ИЗ, км	Концентрация, мг/кг							
		Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Co	Pb	Cd
Север	0	0,19	0,22	36	36	2,4	0,06	0,02	0,10
	0,5	0,19	0,18	24	66	4,0	0,02	0,02	0,29
	1,0	0,08	0,05	21	38	2,5	0,08	0,02	0,11
Юг	0	0,38	1,40	35	39	3,2	0,20	0,02	0,12
	0,5	0,33	1,30	22	48	3,2	0,14	0,02	0,16
	1,0	0,26	1,00	38	51	2,7	0,06	0,02	0,12
Восток	0	0,25	0,48	37	42	3,1	0,07	0,02	0,22
	0,5	0,15	0,71	26	31	1,4	0,06	0,02	0,04
	1,0	0,90	3,10	26	47	2,1	0,02	0,02	0,38
Запад	0	0,14	0,16	21	36	2,5	0,12	0,02	0,16
	0,5	0,25	0,07	18	32	2,9	0,05	0,02	0,04
	1,0	0,14	0,07	18	39	3,3	0,09	0,02	0,15

Анализ пространственного распределения выявил выраженную мозаичность аномалий: максимальные концентрации Cu, Zn и Cd зафиксированы на удалении 1000 м от ИЗ в восточном направлении; пиковые значения Fe – в южном секторе; Mn и Ni – на расстоянии 500 м к северу; Co – непосредственно у карьера в южной его части. Подобная дискретность указывает на сложный характер миграции поллютантов, зависящий не только от розы ветров, но и от микрорельефа, а также гранулометрического состава аллювиально-делювиальных отложений, выступающих аккумуляторами тонкодисперсного материала.

Ряд убывания средней концентрации подвижных форм имеет вид: $Mn > Fe > Ni > Zn > Cu > Co > Cd > Pb$. Обращает на себя внимание инверсия позиций Mn и Fe относительно валовых содержаний, а также резкое снижение доли свинца Pb и кадмия Cd. Это объясняется высокой сорбционной способностью гумусового горизонта черноземов исследуемой территории, которая эффективно иммобилизует наиболее токсичные халькофильные элементы, переводя их в малоподвижное состояние. В то же время сидерофильные металлы (Mn, Ni) демонстрируют большую миграционную способность в буферной зоне.

Интегральная оценка загрязнения

Расчет коэффициента техногенной концентрации (K_c) показал отсутствие процессов интенсивного накопления как для валовых, так и для подвижных форм ТМ во всем спектре опробования ($K_c < 1$). Согласно суммарному показателю загрязнения (Z_c), почвы окрестностей Вишнёвского месторождения относятся к категории допустимого уровня загрязнения ($Z_c < 16$).

Отсутствие значимой техногенной трансформации педосферы при непосредственной близости к карьере может быть связано с коротким периодом активной разработки (с 2010 г.), строгим соблюдением режима пылеподавления на предприятии ООО «Башкирская медь», а также высокими буферными свойствами региональных черноземов. Тем не менее, достижение концентрацией Mn пороговых значений ПДК в импактной зоне требует включения данного элемента в приоритетный список мониторинга. Кроме того, зафиксированное накопление ряда элементов на дистанции 1000 м (восточное направление) указывает на необходимость расширения санитарно-защитной зоны или проведения фитомелиоративных мероприятий для предотвращения дальнейшей латеральной миграции загрязнителей.

Заключение

Проведенная в летний период 2025 г. эколого-геохимическая оценка почвенного покрова в зоне воздействия горно-обогатительного комплекса «Вишнёвское» позволила установить текущее состояние педосферы на фоне активной разработки медно-колчеданных руд.

Основные выводы исследования:

Соответствие нормативам. Валовое содержание приоритетных тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni, Co) во всех точках опробования не превышало установленные ориентировочно допустимые и предельно допустимые концентрации. Это свидетельствует об отсутствии масштабного химического прессинга на окружающую среду со стороны предприятия ООО «Башкирская медь». Исключением выступил марганец, концентрация которого в южном и западном секторах непосредственно у источника загрязнения достигала уровня ПДК, что указывает на локальный аэротехногенный перенос пыли с отвалов вскрышных пород.

Миграционная способность. Анализ подвижных форм элементов показал их полное соответствие гигиеническим нормативам и региональному геохимическому фону для железа. Выявленная мозаичность пространственного распределения аномалий (максимумы Cu, Zn и Cd на востоке; Mn и Ni – на севере; Fe – на юге) обусловлена совокупным влиянием розы ветров, микрорельефа и гранулометрического состава отложений. Высокие буферные свойства региональных черноземов эффективно иммобилизуют наиболее токсичные халькофильные элементы (Pb, Cd), переводя их в малоподвижное состояние, тогда как сидерофильные металлы (Mn, Ni) демонстрируют большую миграционную активность.

Интегральная оценка. Расчет коэффициента техногенной концентрации ($K_c < 1$) и суммарного показателя загрязнения ($Z_c < 16$) классифицирует уровень экологической опасности исследуемых почв как допустимый. Отсутствие выраженных ореолов рассеяния связано с относительно коротким сроком промышленной эксплуатации месторождения (с 2010 г.), строгим соблюдением режима пылеподавления и природными сорбционными свойствами гумусового горизонта.

Потенциальные риски. Несмотря на благополучную общую картину, зафиксированное накопление ряда элементов на дистанции 1000 м в восточном направлении сигнализирует о начале латеральной миграции загрязнителей за пределы непосредственной зоны влияния карьера. Кроме того, достижение концентрацией Mn пороговых значений требует особого внимания.

Практические рекомендации:

включить Mn в приоритетный мониторинг объектов экологического мониторинга из-за его способности достигать пороговых значений вблизи отвалов; расширить санитарно-защитную зону или внедрить снегонакопительные щиты и лесополосы на востоке для купирования миграции поллютантов; провести фитомелиорацию с использованием гипераккумуляторов меди и цинка; организовать ежегодный мониторинг подвижных форм ТМ и адаптивный план управления качеством воздуха с учетом сезонной смены ветров.

Таким образом, несмотря на интенсивный характер недропользования, почвы территории Вишнёвского месторождения сохраняют свою экологическую устойчивость. Однако выявленные тенденции к формированию удаленных зон накопления указывают на необходимость

перехода от разовых оценочных работ к системе непрерывного автоматизированного геоэкологического контроля для своевременного реагирования на изменение геохимической обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Опекунова М.Г., Сомов В.В., Сокульская Ю.С., Кукушкин С.Ю., Цапарина Л.Ю., Палян Э.Э.* Воздействие природных и антропогенных факторов на элементный состав растений Башкирского Зауралья // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2015. Т. 7. № 2. – С. 181–197.
2. Хайбуллинская энциклопедия / гл. ред. Р.Х. Ибрагимов. – Уфа: Башкирская энциклопедия, 2015. – 648 с.
3. *Побилат А.Е., Волошин Е.И.* Мониторинг микроэлементов в почвах (обзор) // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22. № 4. – С. 14–26. – DOI: 10.19112/2413-6174-2021-22-4-14-26
4. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб.
5. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
6. ГОСТ Р 58595–2019 Почвы. Отбор проб. – М.: Стандартиформ, 2019. – 10 с.
7. *Хазиев Ф.Х.* Экология почв Башкортостана. – Уфа, 2012. – 311 с.
8. Методические указания «Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии». – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – 30 с.
9. *Брукс Р.Р.* Загрязнение микроэлементами // В кн.: Химия окружающей среды / Под ред. Дж. О.М. Бокриса. – М.: Химия, 1982. – С. 371–413.
10. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.
11. *Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю.* и др. Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала: экологическое состояние фоновых территорий // Вестник СПб-ГУ. 2001. Сер. 7. Вып. 4. № 31. – С. 45–53.
12. *Сает Ю.У., Ревич Б.А., Янин Е.П.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
13. *Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Зулкарнаев А.Б., Хабиров И.К.* Антропогенная трансформация почв города Сибай в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности. – Уфа: Гилем, Башк. энцикл. 2014. – 124 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Информационные технологии **и телекоммуникации**

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

*Швецов А.Н., доктор технических наук,
профессор*

*Шеркунов Е.В., аспирант
(Вологодский государственный университет)*

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.12

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В АДАПТИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ: ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ КОРРЕКТНОСТИ

В статье рассматриваются педагогические возможности и ограничения применения больших языковых моделей (GigaChat, YandexGPT) в адаптивных обучающих системах для технических дисциплин высшей школы. Проведён анализ десяти отечественных и зарубежных адаптивных образовательных платформ, выявлен характерный паттерн их архитектуры: языковые модели используются как вспомогательный диалоговый сервис, а не как полноценный компонент управления учебным маршрутом. На основе анализа публикаций 2020–2025 годов систематизированы пять групп проблем применения LLM в образовательном контексте: качество и достоверность генерируемого контента, непрозрачность алгоритмов адаптации, ограниченность русскоязычных обучающих данных, инженерные ограничения интеграции и педагогические риски. Предложен подход к обеспечению педагогической корректности генерируемого контента, основанный на принципе двухэтапного взаимодействия с языковой моделью: на этапе генерации учебного задания и на этапе его методической экспертизы той же моделью в иной функциональной роли. Описан замкнутый адаптивный контур, в котором языковая модель является активным компонентом управления учебным процессом. Обоснована необходимость использования отечественных языковых моделей с позиций соответствия требованиям Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных».

Ключевые слова: адаптивные обучающие системы, большие языковые модели, GigaChat, YandexGPT, педагогическая корректность, галлюцинации LLM, технические дисциплины, высшее образование, персонализация обучения, цифровые образовательные технологии.

*Shvetsov A.N.
Sherkunov E.V.*

THE USING OF GENERATIVE LANGUAGE MODELS IN ADAPTIVE EDUCATIONAL SYSTEMS FOR TECHNICAL DISCIPLINES OF HIGHER EDUCATION: OPPORTUNITIES, LIMITATIONS AND APPROACHES TO ENSURING PEDAGOGICAL CORRECTNESS

The article examines the pedagogical opportunities and limitations of using large language models (GigaChat, YandexGPT) in adaptive learning systems for technical disciplines in higher education. An analysis of ten domestic and foreign adaptive educational platforms is conducted; a characteristic architectural pattern is identified: language models are used as an auxiliary dialogue service rather than as a full-fledged component of learning path management. Based on an analysis of publications from 2020–2025, five groups of problems in applying LLMs in educational contexts are systematised: quality and reliability of generated content, opacity of adaptation algorithms, limited Russian-language training data, engineering integration constraints, and pedagogical risks. An approach to ensuring pedagogical correctness of generated content is proposed, based on the principle of two-stage interaction with the language model: at the stage of generating the learning task and at the stage of its methodological review by the same model in a different functional role. A closed adaptive loop in which the language model is an active component of learning management is described.

Keywords: *adaptive learning systems, large language models, GigaChat, YandexGPT, pedagogical correctness, LLM hallucinations, technical disciplines, higher education, personalized learning, digital educational technologies.*

Введение

Персонализация образовательного процесса в высшей школе является одной из ключевых задач педагогики цифровой эпохи [1]. Переход к смешанным и дистанционным форматам, обусловленный как пандемическими вызовами последних лет, так и объективным ростом масштабов высшего образования, обострил давнее противоречие: при увеличении числа студентов возможности преподавателя уделять индивидуальное внимание каждому неизбежно сокращаются. Студенты с высоким исходным уровнем подготовки теряют мотивацию из-за необходимости повторять пройденный материал, тогда как студенты с пробелами в базовых знаниях не успевают усвоить новый контент в едином темпе академической группы.

Адаптивные обучающие системы (АОС) разрабатываются как технологический ответ на этот вызов: они способны формировать индивидуальный учебный маршрут, подстраивая содержание, темп и форму учебных заданий под конкретного студента [2, 3]. Между тем классические АОС имеют принципиальное ограничение: разнообразие предоставляемых заданий ограничено заранее подготовленным банком контента, создание и обновление которого требует значительных трудозатрат преподавателя или специально привлекаемых методистов.

Стремительное развитие больших языковых моделей (Large Language Models, LLM) в 2020–2025 годах открыло принципиально новые возможности для адаптивного обучения [1]. LLM способны генерировать уникальные учебные задания, объяснения и обратную связь по запросу в реальном времени без предварительной разметки контента. На отечественном рынке появились зрелые русскоязычные модели – GigaChat (ПАО «Сбербанк») и YandexGPT (ООО «Яндекс»), – которые обеспечивают не только качественную генерацию на русском языке, но и хранение обрабатываемых данных на российской инфраструктуре в соответствии с требованиями Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных».

Вместе с тем применение LLM в образовательном контексте сопряжено с серьезными рисками, прежде всего с проблемой «галлюцинаций» – генерации правдоподобно выглядящего, но фактически неверного контента [4]. Для технических дисциплин, где правильность ответа бинарна и поддается формальной проверке, наличие механизма верификации педагогической корректности генерируемых заданий является не опциональным улучшением, а необходимым условием практической применимости системы.

Данная статья посвящена анализу педагогических возможностей и ограничений применения LLM в адаптивных системах для технических дисциплин высшей школы, а также обоснованию подхода к обеспечению педагогической корректности генерируемого контента.

1. Адаптивные образовательные системы: педагогические основания и современное состояние

Идея адаптации учебного процесса к индивидуальным особенностям обучающегося имеет глубокие педагогические корни. Л.С. Выготский сформулировал концепцию «зоны ближайшего развития»: наиболее эффективное обучение происходит в диапазоне задач, которые студент не может решить самостоятельно, но способен выполнить с направляющей помощью [5]. Адаптивные системы операционализируют эту идею, постоянно калибруя сложность предлагаемых заданий к текущему уровню знаний студента.

В технической реализации АОС ключевым компонентом является модель обучающегося (student model) – формализованное представление текущего состояния знаний студента, на основании которого принимаются педагогические решения [6]. Байесовское отслеживание знаний (BKT), предложенное Корбеттом и Андерсоном [7], оценивает вероятность освоения каждого навыка на основе истории правильных и неправильных ответов. Модель глубокого отслеживания знаний (DKT, Piech и т.д. [8]) использует рекуррентные нейронные сети для анализа последовательности ответов, демонстрируя более высокую точность прогнозирования.

Анализ десяти адаптивных образовательных платформ – зарубежных (Knewton Alta, ALEKS, Carnegie Learning MATHia, Duolingo, Khan Academy с сервисом Khanmigo) и отечественных (Stepik, Учи.ру, ЯКласс, СберКласс, LMS на базе Moodle) – позволяет выявить характерную закономерность. В большинстве случаев адаптация реализована на уровне выбора из заранее подготовленного банка заданий по правилам, основанным на результатах предыдущих ответов. Языковые модели, там где они присутствуют (Khanmigo на базе GPT-4, эксперименты СберКласса с GigaChat), используются как вспомогательный диалоговый сервис – для объяснений и ответов на вопросы – а не как компонент, участвующий в управлении учебным маршрутом.

Это разграничение принципиально важно с педагогической точки зрения. Диалоговый ассистент предоставляет студенту помощь по запросу, но не формирует персонализированный маршрут: студент сам решает, когда и о чём спросить. Компонент управления маршрутом, напротив, активно определяет, что именно будет предложено студенту следующим – без его инициативы. Именно в последней роли LLM открывают новые педагогические возможности, не имеющие аналога в классических АОС.

2. Педагогические возможности генеративных языковых моделей в техническом образовании

Применение LLM в адаптивных системах для технических дисциплин открывает ряд педагогических возможностей, принципиально недостижимых при работе с фиксированным банком заданий.

Первая возможность – неограниченное разнообразие учебных заданий. Классические банки заданий ограничены числом вопросов, созданных преподавателем вручную. По мере многократного прохождения курса студентами задания становятся знакомыми, что снижает образовательный эффект и создает условия для формального заучивания правильных ответов. LLM генерируют уникальные задания при каждом обращении, фактически устраняя это ограничение [1].

Вторая возможность – контекстная персонализация заданий. Языковая модель способна учитывать не только уровень сложности, но и конкретный профиль ошибок студента, его специализацию или профессиональный контекст. Задание по теме «SQL-запросы с агрегатными функциями» может быть сформулировано через схему базы данных, релевантную направлению подготовки студента – будь то логистика, медицина или образование – что повышает мотивацию и облегчает перенос знаний в профессиональный контекст.

Третья возможность – генерация персонализированной обратной связи. Стандартные системы с выбором из готовых вариантов ответа могут сообщить студенту лишь

о правильности или неправильности его выбора. LLM способны анализировать предложенный студентом SQL-запрос, точно указывать на допущенную логическую ошибку, объяснять причину ошибки и формулировать корректное решение – то есть обеспечивать обратную связь, качественно сопоставимую с обратной связью от преподавателя при рутинной проверке задания.

Четвертая возможность – диалоговое сопровождение. В отличие от систем с дискретными форматами ответа (выбор из вариантов, заполнение пропуска), LLM позволяют реализовать диалоговое взаимодействие: студент может задать уточняющий вопрос по условию задачи, попросить подсказку или объяснить свой подход перед тем, как представить решение. Это приближает взаимодействие с системой к педагогически ценному формату «обучение через диалог» [9].

Исследования подтверждают практическую реализуемость данных возможностей. Сарса и соавторы [10] показали, что современные LLM способны генерировать корректные задачи по программированию различного уровня сложности. Трюммер [11] продемонстрировал эффективность LLM для задач объяснения SQL-запросов и проверки решений студентов. Каснеци и соавторы [1] систематизировали успешные случаи применения LLM для поддержки учебного процесса в высшей школе.

3. Педагогические риски и ограничения

При всех преимуществах LLM их применение в образовательном процессе несет риски, требующих осмысления и специальных педагогических мер.

Галлюцинации языковых моделей представляют наиболее острую проблему в техническом образовании. Джи и соавторы [4] определяют галлюцинации как генерацию правдоподобных, но фактически неверных утверждений. Для гуманитарных дисциплин, где ответы нередко допускают интерпретацию, это создает умеренный риск. Для технических дисциплин с формально верифицируемыми ответами ситуация иная: некорректный синтаксис SQL-запроса или неверный алгоритм сортировки, представленные как правильные, могут сформировать у студента устойчивое ошибочное представление, которое потребует дополнительных усилий для коррекции. Шайхелисламов и соавторы [12] показали, что частота фактических ошибок при генерации программного кода современными LLM остаётся заметной.

Риск снижения самостоятельности. Ивахненко и Никольский [13] указывают на опасность того, что постоянная доступность помощи от языковой модели снижает мотивацию студентов к самостоятельному решению задач. При некорректной организации учебного процесса студент может перейти к паттерну взаимодействия «запросить решение, скопировать, отправить» вместо реального освоения материала. Это требует специальных педагогических мер: заданий, требующих обоснования подхода, ограничения числа подсказок, форматов ответа, исключающих простое копирование.

Непрозрачность алгоритмов. Адади и Беррада [14] указывают, что нейросетевые модели принимают решения, не поддающиеся интерпретации стандартными методами. Когда алгоритм адаптации системы выбирает следующее задание на основе скрытых состояний нейронной сети, преподаватель не может понять логику выбора и, следовательно, не может содержательно осмыслить прогресс студента. Это снижает педагогическую ценность системы как инструмента формирующего оценивания.

Риски, специфичные для российского контекста, включают ограниченный доступ к ряду зарубежных LLM-сервисов и требования законодательства о локализации персональных данных. Давыдов и соавторы [15] отмечают, что внедрение ИИ-инструментов в российском высшем образовании носит пока преимущественно пилотный характер, и системных решений, отвечающих требованиям как педагогической эффективности, так и правовой корректности, до настоящего времени не предложено.

4. Подход к обеспечению педагогической корректности

Для преодоления выявленных ограничений предлагается подход, основанный на принципе двухэтапного взаимодействия с языковой моделью в рамках единого замкнутого контура управления обучением.

Принципиальное отличие предложенного подхода от существующих решений состоит в том, что языковая модель выступает не вспомогательным сервисом, а активным компонентом цикла адаптации. Ее роль двойственна: на первом этапе модель в функциональной роли «Преподавателя» генерирует учебное задание с заданными параметрами темы и уровня сложности; на втором этапе та же модель в функциональной роли «Методического эксперта» оценивает сгенерированное задание по критериям педагогической корректности. Только задание, получившее положительную оценку на этапе методической экспертизы, предъявляется студенту.

Педагогические основания данного подхода связаны с принципом рефлексии и самооценки, хорошо известным в педагогике: проверка собственной работы с позиции другого субъекта (в данном случае – методического эксперта) повышает качество результата [5]. Применительно к LLM это реализуется через переключение функциональной роли модели посредством изменения системного промпта: одна и та же модель рассматривает задание сначала с позиции создателя, затем с позиции критика-методиста.

Критерии педагогической корректности, используемые на этапе методической экспертизы, включают: (1) тематическое соответствие – задание посвящено заявленной теме курса; (2) фактическую достоверность – все утверждения в задании корректны с точки зрения предметной области; (3) соответствие заявленному уровню сложности – задание не является тривиальным для указанного уровня и не является завышенным по сложности; (4) однозначность постановки – задание не допускает различных интерпретаций условия; (5) полноту условия – задание содержит все данные, необходимые для решения.

Замкнутый адаптивный контур, реализующий предложенный подход, включает следующие компоненты. Модель обучающегося хранит вектор оценок уровня освоения каждой темы курса и обновляется после каждого выполненного задания – это обеспечивает динамическую адаптацию без необходимости периодических контрольных тестов. Модуль генерации формирует задание через первое обращение к LLM с учетом параметров из модели обучающегося. Модуль методической экспертизы верифицирует задание через второе обращение к LLM в роли эксперта. Модуль эмпирической калибровки накапливает статистику результатов выполнения каждого задания студентами и уточняет оценку его сложности, изначально выставленную языковой моделью.

Данный подход решает несколько из выявленных педагогических проблем одновременно. Двухэтапная верификация снижает риск попадания к студенту фактически неверного контента. Явная модель обучающегося в виде вектора оценок по темам обеспечивает прозрачность адаптации для преподавателя. Использование отечественных моделей GigaChat и YandexGPT обеспечивает соответствие законодательству о персональных данных.

5. Обсуждение

Предложенный подход вписывается в более широкую педагогическую дискуссию о роли технологий искусственного интеллекта в высшей школе. Раицкая и Ламбовска [16], анализируя международные исследования применения ChatGPT в высшем образовании, выделяют трансформацию оценивания как одно из ключевых направлений: традиционные методы контроля знаний теряют смысл, когда студент имеет доступ к мощному генеративному инструменту. Предложенный подход предлагает иную рамку: LLM не заменяет студента в выполнении заданий, а формирует поток заданий, адаптированных к его уровню, – то есть выполняет педагогическую, а не учебную функцию.

Пустовойтов и соавторы [17] подчеркивают важность структурирования взаимодействия студента с генеративной моделью: без чёткой педагогической рамки студент склонен использовать LLM как инструмент получения готовых ответов, а не как инструмент обучения. Предложенный замкнутый контур структурирует это взаимодействие на системном уровне: студент получает задание от системы и даёт ответ системе – языковая модель «невидима» для него в своей роли генератора заданий.

Необходимо честно обозначить ограничения предложенного подхода. Двухэтапная верификация снижает, но не устраняет риск галлюцинаций: возможна ситуация, когда оба обращения к модели содержат согласованную, но фактически неверную информацию. Это делает необходимым периодический экспертный аудит системы со стороны преподавателя – особенно при введении новых тем. Кроме того, двойное обращение к API увеличивает время формирования задания до 4–10 секунд, что приемлемо, но требует соответствующей реализации пользовательского интерфейса с индикатором загрузки.

Перспективным направлением развития является применение технологии RAG (Retrieval-Augmented Generation), при которой языковая модель генерирует задания с опорой на верифицированную учебную базу знаний – текстовые материалы лекций, учебники, официальную документацию. Это существенно снизит риск фактических ошибок при сохранении разнообразия генерируемых заданий.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что применение больших языковых моделей в адаптивных обучающих системах для технических дисциплин высшей школы открывает принципиально новые педагогические возможности – в первую очередь неограниченное разнообразие заданий и персонализированную обратную связь, – которые недостижимы при работе с фиксированным банком контента. Вместе с тем существующие подходы к интеграции LLM ограничиваются использованием моделей как вспомогательного диалогового сервиса, не включённого в управление учебным маршрутом.

Предложенный подход к обеспечению педагогической корректности, основанный на двухэтапном взаимодействии с языковой моделью в функциональных ролях «Преподавателя» и «Методического эксперта» в рамках замкнутого адаптивного контура, позволяет использовать генеративный потенциал LLM при одновременном снижении риска предъявления студенту педагогически некорректного контента.

Использование отечественных языковых моделей GigaChat и YandexGPT обеспечивает не только соответствие требованиям российского законодательства о персональных данных, но и качественную русскоязычную генерацию, необходимую для технических дисциплин на русском языке.

Практическая реализация описанного подхода в программном прототипе и его педагогическая апробация в учебном процессе составят предмет последующих публикаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kasneci E., Sessler K., Küchemann S.* [et al.] ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education // *Learning and Individual Differences*. 2023. Vol. 103. Art. 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.
2. *Brusilovsky P.* Adaptive Hypermedia // *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 2001. Vol. 11, No. 1–2. P. 87–110. DOI: 10.1023/A:1011143116306.
3. *Расстригин Л.А., Эренштейн М.Х.* Адаптивное обучение с моделью обучаемого. – Рига: Зинатне, 1988. 160 с.
4. *Ji Z., Lee N., Frieske R.* [et al.] Survey of hallucination in natural language generation // *ACM Computing Surveys*. 2023. Vol. 55, No. 12. Art. 248. DOI: 10.1145/3571730.

5. *Выготский Л.С.* Педагогическая психология / под ред. В.В. Давыдова. – М.: Педагогика, 1991. 480 с.
6. *Shvetsov A.N., Sergushicheva A.P., Andrianov I.A., Kharina M.V., Zaslavskaya O. Yu.* Student model implementation in the digital educational environment for it specialists training // *Journal of Physics: Conference Series*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 12080.
7. *Corbett A.T., Anderson J.R.* Knowledge Tracing: Modeling the Acquisition of Procedural Knowledge // *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 1994. Vol. 4, No. 4. P. 253–278. DOI: 10.1007/BF01099821.
8. *Piech C., Bassen J., Huang J. [et al.]* Deep Knowledge Tracing // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2015)*. 2015. Vol. 28. P. 505–513.
9. *Григорьев С.Г., Аникьева М.А.* Повышение эффективности применения технологий генеративного искусственного интеллекта в образовательной деятельности // *Информатика и образование*. 2024. Т. 39, № 3. С. 5–15. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-3-5-15.
10. *Sarsa S., Denny P., Hellas A., Leinonen J.* Automatic Generation of Programming Exercises and Code Explanations Using Large Language Models // *Proceedings of the 2022 ACM Conference on International Computing Education Research (ICER 2022)*. 2022. P. 27–43. DOI: 10.1145/3501385.3543957.
11. *Trummer I.* From BERT to GPT-3 Codex: Harnessing the Potential of Very Large Language Models for Data Management // *Proceedings of the VLDB Endowment*. 2022. Vol. 15, No. 12. P. 3770–3773. DOI: 10.14778/3554821.3554896.
12. *Шайхелисламов Д.С., Дробышевский М.Д., Белеванцев А.А.* Интерактивная генерация кода на основе LLM: эмпирическая оценка // *Труды Института системного программирования РАН*. 2025. Т. 37, № 5. С. 123–130. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(5)-9.
13. *Ивахненко Е.Н., Никольский В.С.* ChatGPT в высшем образовании и науке: угроза или ценный ресурс? // *Высшее образование в России*. 2023. Т. 32, № 4. С. 9–22. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-4-9-22.
14. *Adadi A., Berrada M.* Peeking inside the black-box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI) // *IEEE Access*. 2018. Vol. 6. P. 52138–52160. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2870052.
15. *Давыдов С.Г., Матвеева Н.Н., Адемукова Н.В., Вичканова А.А.* Искусственный интеллект в российском высшем образовании: текущее состояние и перспективы развития // *Университетское управление: практика и анализ*. 2024. Т. 28, № 3.
16. *Раицкая Л.К., Ламбовска М.Р.* Перспективы применения ChatGPT для высшего образования: обзор международных исследований // *Интеграция образования*. 2024. Т. 28, № 1. С. 10–21. DOI: 10.15507/1991-9468.114.028.202401.010-021.
17. *Пустовойтов В.Н., Дубицкая Е.В., Шлома А.В.* Искусственный интеллект в образовании: риски некорректного использования // *Современные наукоёмкие технологии*. 2025. № 8. С. 109–113. DOI: 10.17513/snt.40471.

*Швецов А.Н., доктор технических наук,
профессор*

*Шеркунов Е.В., аспирант
(Вологодский государственный универси-
тет)*

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.13

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION (RAG) ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕНЕРИРУЕМЫХ УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статье рассматривается применение технологии Retrieval-Augmented Generation (RAG) для повышения фактической достоверности учебных заданий, генерируемых большими языковыми моделями в адаптивных обучающих системах технического образования. Показано, что генерация без опоры на внешнюю верифицированную базу знаний приводит к заметной доле фактических ошибок, особенно в дисциплинах с формально проверяемыми ответами. Предложена архитектура RAG-контура, объединяющая модуль информационного поиска по проверенным учебным материалам с последующей методической экспертизой сгенерированного задания той же языковой моделью в иной функциональной роли. Описана программная реализация на базе отечественных моделей GigaChat и YandexGPT. Приведены результаты сравнительного эксперимента на выборке из 400 заданий по программированию и работе с базами данных: доля заданий с фактическими ошибками снизилась с 18–21% (без RAG) до 3–5% (с RAG) при сохранении высокого разнообразия формулировок. Обоснована целесообразность совместного применения RAG и двухэтапной методической верификации, а не замены одного механизма другим.

Ключевые слова: Retrieval-Augmented Generation, RAG, большие языковые модели, GigaChat, YandexGPT, адаптивные обучающие системы, генерация учебных заданий, галлюцинации LLM, технические дисциплины, высшее образование, векторный поиск, персонализация обучения.

Shvetsov A.N.

Sherkunov E.V.

APPLICATION OF RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION (RAG) TECHNOLOGY TO IMPROVE THE RELIABILITY OF GENERATED LEARNING TASKS IN ADAPTIVE SYSTEMS FOR TECHNICAL EDUCATION

The article examines the application of Retrieval-Augmented Generation (RAG) technology to improve the factual reliability of learning tasks generated by large language models in adaptive learning systems for technical education. It is shown that generation without reliance on an external verified knowledge base leads to a noticeable proportion of factual errors, particularly in disciplines with formally verifiable answers. An architecture of a RAG loop is proposed, combining an information-retrieval module over verified educational materials with subsequent methodological review of the generated task by the same language model in a different functional role. A software implementation based on the domestic models GigaChat and YandexGPT is described. The results of a comparative experiment on a sample of 400 tasks in programming and database work are presented: the proportion of tasks with factual errors decreased from 18–21% (without RAG) to 3–5% (with RAG), while the diversity of formulations remained high. The expediency of combining RAG with two-stage methodological verification, rather than substituting one mechanism for the other, is substantiated.

Keywords: Retrieval-Augmented Generation, RAG, large language models, GigaChat, YandexGPT, adaptive learning systems, learning task generation, LLM hallucinations, technical disciplines, higher education, vector search, personalized learning.

Введение

Большие языковые модели (Large Language Models, LLM) всё активнее используются в адаптивных обучающих системах для автоматической генерации учебных заданий, объяснений и обратной связи по техническим дисциплинам высшей школы [1, 2]. Такой подход снимает принципиальное ограничение классических адаптивных систем – зависимость от заранее подготовленного и трудоёмкого в поддержании банка заданий – и позволяет формировать уникальный учебный контент по запросу, с учётом текущего уровня и профиля ошибок конкретного студента.

Вместе с тем генеративный подход несёт специфический риск: языковые модели формируют текст на основе статистических закономерностей, усвоенных в процессе предобучения, а не путем обращения к внешнему источнику истины [3]. Следствием этого являются так называемые «галлюцинации» – генерация правдоподобно выглядящих, но фактически неверных утверждений [4]. Для технических дисциплин с формально верифицируемым ответом – синтаксисом SQL-запроса, корректностью алгоритма, соответствием стандарту языка программирования – цена такой ошибки особенно высока: студент рискует усвоить ошибочное представление как верное.

Один из способов снижения этого риска – постгенерационная методическая верификация, при которой сгенерированное задание оценивается по формализованным критериям педагогической корректности той же моделью, переведенной в роль эксперта [5]. Такая верификация заметно снижает долю ошибочных заданий, но не устраняет их полностью: модель как «автор» и модель как «эксперт» могут согласованно опираться на одно и то же ошибочное параметрическое знание. Это обосновывает необходимость воздействовать на сам этап генерации, снабжая модель проверенным внешним контекстом, – что и обеспечивает технология Retrieval-Augmented Generation (RAG), при которой перед генерацией модель получает релевантные фрагменты из заранее подготовленной верифицированной базы знаний [6].

Целью настоящей статьи является описание архитектуры RAG-контура для генерации учебных заданий в адаптивной системе технического образования, экспериментальная оценка его влияния на фактическую достоверность генерируемого контента и обоснование целесообразности совместного применения RAG с методической экспертизой на базе той же языковой модели.

1. Технология RAG: принципы и образовательный потенциал

Классическая схема работы LLM предполагает, что модель формирует ответ исключительно на основе параметров, зафиксированных на этапе предобучения. RAG дополняет эту схему этапом информационного поиска: по запросу из внешней базы знаний извлекаются наиболее релевантные фрагменты, которые передаются модели вместе с исходным запросом в качестве контекста [6]. Идея восходит к работам по совмещению плотного семантического поиска с генеративными моделями: Karpukhin и соавторы предложили эффективный метод плотного поиска пассажей для открытых вопросно-ответных систем [7], Guu и соавторы интегрировали поиск непосредственно в процесс предобучения языковой модели (REALM) [8], а Izacard и Grave показали, что объединение нескольких извлеченных пассажей на этапе декодирования повышает точность генеративного ответа [9]. Обзор Gao и соавторов систематизирует современные архитектуры RAG, выделяя базовую, продвинутую и модульную схемы построения таких систем [10].

В образовательном контексте RAG даёт преподавателю содержательный контроль над источником знаний: база формируется из проверенных материалов и обновляется без переобучения модели, а при корректной организации поиска модель получает фрагменты, соответствующие теме и уровню сложности задания. Shuster и соавторы экспериментально показали, что дополнение генеративных моделей механизмом извлечения информации заметно снижает долю фактически неверных ответов [11].

2. Архитектура RAG-контура в адаптивной обучающей системе

Предлагаемая архитектура объединяет модуль извлечения информации с ранее апробированной схемой генерации учебных заданий, в которой языковая модель последовательно выступает в двух функциональных ролях – «Преподаватель» и «Методический эксперт» [5].

База знаний формируется из текстов лекций, глав рекомендованных учебников, официальной документации (например, СУБД PostgreSQL, стандартов SQL, спецификаций языков программирования) и разбивается на семантически целостные фрагменты объемом 300–600 токенов. Для каждого фрагмента вычисляется векторное представление с использованием модели, совместимой с применяемой LLM; для получения качественных семантических представлений могут использоваться специализированные модели типа Sentence-BERT, обученные так, чтобы косинусное расстояние между эмбедингами отражало смысловую близость текстов [12].

Модуль информационного поиска по параметрам текущего задания – теме, уровню сложности, профилю типичных ошибок студента – формирует запрос и извлекает top-k ($k = 3\text{--}5$) наиболее релевантных фрагментов по косинусному сходству эмбедингов. Модуль генерации передаёт эти фрагменты вместе с системным промптом «Преподаватель» и параметрами задания языковой модели (GigaChat или YandexGPT) с явной инструкцией опираться исключительно на предоставленный контекст.

Модуль методической экспертизы проверяет сгенерированное задание той же моделью в роли «Методический эксперт» по пяти критериям: тематическому соответствию, фактической достоверности, соответствию уровню сложности, однозначности постановки и полноте условия. В отличие от базовой схемы без RAG, экспертная роль дополнительно сверяет фактические утверждения задания с тем же контекстом, который был передан на этапе генерации, что превращает экспертизу в контролируемую сверку с источником, а не только во внутреннюю проверку непротиворечивости текста.

Модель обучающегося и модуль эмпирической калибровки сложности заданий по статистике их выполнения остаются без изменений. RAG не заменяет двухэтапную верификацию, а усиливает её: генерация опирается на проверенный контекст, а экспертиза дополнительно контролирует соответствие этому контексту.

3. Организация эксперимента

Для оценки эффективности RAG проведен сравнительный эксперимент на выборке из 400 учебных заданий. Группа А (без RAG, 200 заданий: по 100 от GigaChat и YandexGPT) – задания генерировались по двухэтапной схеме без обращения к базе знаний. Группа В (с RAG, 200 заданий, аналогичное распределение по моделям) – задания генерировались по той же схеме, но с предварительным извлечением фрагментов из базы знаний.

Тематика заданий охватывала SQL (агрегатные функции, JOIN, подзапросы, оконные функции), основы алгоритмов (сортировка, поиск, рекурсия) и элементы ООП. База знаний для группы В включала фрагменты лекций курса, главы учебника и официальную документацию PostgreSQL и Python.

Каждое задание независимо оценивалось двумя экспертами-преподавателями по трём критериям: наличие фактических ошибок, педагогическая корректность постановки, соответствие уровню сложности; расхождения разрешались совместным обсуждением, что соответствует общепринятой практике измерения межэкспертной надёжности [13]. Дополнительно фиксировались лексическое разнообразие формулировок и среднее время формирования задания.

4. Результаты

Обобщенные результаты сравнительного эксперимента показывают следующее. Доля заданий с фактическими ошибками составила в группе А 18,5% для GigaChat и 21,0% для

YandexGPT; в группе В эти показатели снизились до 3,5% и 4,8% соответственно. Доля заданных, отклоненных модулем методической экспертизы, в группе В оказалась заметно ниже, чем в группе А, что указывает на более высокое исходное качество генерации. Лексическое разнообразие формулировок в группе В осталось сопоставимым с группой А (снижение менее 8%), а среднее время формирования задания увеличилось с 2–3 до 4–5 секунд за счёт этапа информационного поиска.

5. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что RAG существенно повышает фактическую достоверность генерируемых учебных заданий, но не отменяет необходимость последующей методической верификации: даже при опоре на проверенный контекст модель может некорректно интерпретировать фрагмент или сформировать неоднозначную формулировку. Сочетание генерации с опорой на верифицированную базу знаний и последующей экспертизы той же моделью в иной роли дает более устойчивый результат, чем каждый из механизмов по отдельности.

Ограничения подхода связаны прежде всего с качеством и полнотой базы знаний: при отсутствии релевантных фрагментов по теме преимущество RAG исчезает, что требует систематической работы преподавателя по расширению базы, а качество поиска зависит от выбора модели эмбедингов и стратегии разбиения документов на чанки. Перспективно дополнение экспертной оценки автоматизированными метриками, специально разработанными для RAG-систем, – например, фреймворком RAGAS, оценивающим точность и полноту извлечения и степень опоры ответа на контекст без привлечения экспертов на каждой итерации [14].

Результаты согласуются с дискуссией о рисках и возможностях генеративного ИИ в высшем образовании: реализация педагогического потенциала LLM требует механизмов контроля качества контента [1], генерация упражнений по программированию нуждается в проверке корректности [2], постоянная доступность генеративных инструментов создает риск снижения самостоятельности студентов [15], а внедрение генеративного ИИ требует методического сопровождения [16] и трансформирует подходы к оцениванию [17]. Предложенная архитектура смещает акцент с постфактумного контроля на управление источником знаний, из которого формируется задание.

Применение моделей GigaChat и YandexGPT с локально размещённой базой знаний обеспечивает обработку данных студентов на территории РФ в соответствии с Федеральным законом от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» [18]. Дальнейшего изучения требуют многошаговый (multi-hop) и гибридный поиск, сочетающий семантическое и лексическое сопоставление запроса с базой знаний.

Заключение

Технология Retrieval-Augmented Generation позволяет существенно повысить фактическую достоверность учебных заданий, генерируемых большими языковыми моделями в адаптивных системах технического образования. Экспериментальная проверка на выборке из 400 заданий по программированию и базам данных зафиксировала снижение доли заданий с фактическими ошибками с 18–21% до 3–5% при сохранении высокого разнообразия формулировок.

RAG наиболее эффективен не как замена постгенерационного контроля, а в сочетании с двухэтапной методической верификацией: генерация с опорой на проверенный контекст снижает вероятность ошибок «на входе», а последующая экспертиза той же моделью дополнительно контролирует соответствие задания критериям педагогической корректности и исходному контексту. Практическая апробация архитектуры на более широкой выборке и применение автоматизированных метрик оценки RAG-контура составляют предмет дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kasneci E., Sessler K., Küchemann S.* [et al.] ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education // *Learning and Individual Differences*. 2023. Vol. 103. Art. 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.
2. *Sarsa S., Denny P., Hellas A., Leinonen J.* Automatic Generation of Programming Exercises and Code Explanations Using Large Language Models // *Proceedings of the 2022 ACM Conference on International Computing Education Research (ICER 2022)*. 2022. P. 27–43. DOI: 10.1145/3501385.3543957.
3. *Brown T., Mann B., Ryder N.* [et al.] Language models are few-shot learners // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2020. Vol. 33. P. 1877–1901.
4. *Ji Z., Lee N., Frieske R.* [et al.] Survey of hallucination in natural language generation // *ACM Computing Surveys*. 2023. Vol. 55, No. 12. Art. 248. DOI: 10.1145/3571730.
5. *Швецов А.Н., Шеркунов Е.В.* Применение генеративных языковых моделей в адаптивных образовательных системах для технических дисциплин высшей школы: возможности, ограничения и подходы к обеспечению педагогической корректности // *Естественные и технические науки*. 2026. № 9.
6. *Lewis P., Perez E., Piktus A.* [et al.] Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2020. Vol. 33. P. 9459–9474.
7. *Karpukhin V., Oğuz B., Min S.* [et al.] Dense passage retrieval for open-domain question answering // *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. 2020. P. 6769–6781. DOI: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.550.
8. *Guu K., Lee K., Tung Z.* [et al.] REALM: Retrieval-augmented language model pre-training // *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning (ICML 2020)*. 2020. P. 3929–3938.
9. *Izacard G., Grave E.* Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering // *Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL)*. 2021. P. 874–880.
10. *Gao Y., Xiong Y., Gao X.* [et al.] Retrieval-augmented generation for large language models: a survey // *arXiv preprint*. 2023. arXiv:2312.10997. URL: <https://arxiv.org/abs/2312.10997> (дата обращения: 04.09.2026).
11. *Shuster K., Poff S., Chen M.* [et al.] Retrieval augmentation reduces hallucination in conversation // *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021*. 2021. P. 3784–3803. DOI: 10.18653/v1/2021.findings-emnlp.320.
12. *Reimers N., Gurevych I.* Sentence-BERT: Sentence embeddings using Siamese BERT-networks // *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)*. 2019. P. 3982–3992. DOI: 10.18653/v1/D19-1410.
13. *Landis J.R., Koch G.G.* The measurement of observer agreement for categorical data // *Biometrics*. 1977. Vol. 33, No. 1. P. 159–174.
14. *Es S., James J., Espinosa-Anke L., Schockaert S.* RAGAS: automated evaluation of retrieval augmented generation // *arXiv preprint*. 2023. arXiv:2309.15217. URL: <https://arxiv.org/abs/2309.15217> (дата обращения: 04.09.2026).
15. *Ивахненко Е.Н., Никольский В.С.* ChatGPT в высшем образовании и науке: угроза или ценный ресурс? // *Высшее образование в России*. 2023. Т. 32, № 4. С. 9–22. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-4-9-22.
16. *Григорьев С.Г., Аникьева М.А.* Повышение эффективности применения технологий генеративного искусственного интеллекта в образовательной деятельности // *Информатика и образование*. 2024. Т. 39, № 3. С. 5–15. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-3-5-15.

17. Раицкая Л.К., Ламбовска М.Р. Перспективы применения ChatGPT для высшего образования: обзор международных исследований // Интеграция образования. 2024. Т. 28, № 1. С. 10–21. DOI: 10.15507/1991-9468.114.028.202401.010-021.
18. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» // Собрание законодательства РФ. 2006. № 31 (ч. 1). Ст. 3451.

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Лукашенко Д.В., доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник

Мешкова Л.В., старший научный сотрудник

(Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ: ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ И АКТУАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ

В статье рассматриваются современные подходы к построению и сопровождению цифровых двойников технологических процессов в контексте задач оценки состояния и управления. Показано, что ключевым ограничением широкого внедрения технологии остается трудоемкость создания и поддержания в актуальном состоянии крупномасштабных моделей, охватывающих отдельные стадии или весь производственный объект. Проанализированы возможности сочетания методов машинного обучения и автоматизированного уравнения-ориентированного моделирования. Обоснована необходимость перехода от статических цифровых теней к адаптивным системам, способным самостоятельно выявлять расхождение с физическим объектом и корректировать параметры. Отдельно отмечены перспективы применения цифровых двойников в рамках производственной деятельности учреждений Федеральной службы исполнения наказаний Российской Федерации (ФСИН России) для повышения эффективности управления технологическими процессами. Сформулированы направления дальнейших исследований, направленные на повышение технологической готовности средств автоматической генерации и обновления моделей.

Ключевые слова: цифровые двойники, автоматизация технологических процессов, оценка состояния, управление, машинное обучение, уравнение-ориентированное моделирование, актуализация моделей, ФСИН России.

Lukashenko D.V.

Meshkova L.V.

DIGITAL TWINS IN AUTOMATION AND PROCESS CONTROL SYSTEMS: CHALLENGES OF AUTOMATIC MODEL GENERATION AND UPDATING

The paper examines modern approaches to the construction and maintenance of digital twins of technological processes in the context of state estimation and control tasks. It is shown that the key limitation to the widespread implementation of the technology remains the labour intensity of creating and keeping up-to-date large-scale models covering individual stages or an entire production facility. The possibilities of combining machine learning methods and automated equation-based modelling are analysed. The necessity of transition from static digital shadows to adaptive systems capable of independently detecting discrepancies with the physical object and adjusting parameters is substantiated. Prospects for the application of digital twins within the production activities of institutions of the Federal Penitentiary Service of the Russian Federation (FSIN of Russia) to improve the efficiency of technological process management are separately noted. Directions for further research aimed at increasing the technological readiness of automatic model generation and updating tools are formulated.

Keywords: *digital twins, process automation, state estimation, control, machine learning, equation-based modelling, model updating, Federal Penitentiary Service of Russia.*

Современное развитие промышленных систем управления все чаще опирается на концепцию цифрового двойника как связующего звена между физическим объектом и его виртуальным представлением. В отличие от традиционных имитационных моделей, цифровой двойник предполагает двусторонний обмен данными в режиме, близком к реальному времени, и использование полученной информации для решения задач мониторинга, прогнозирования и оптимизации.

Однако практическая реализация цифровых двойников на уровне цеха или всего предприятия сталкивается с рядом системных трудностей. Создание модели, адекватно отражающей взаимосвязи между десятками и сотнями единиц оборудования, требует значительных затрат времени квалифицированных специалистов. Еще более сложной оказывается задача поддержания модели в актуальном состоянии на протяжении всего жизненного цикла объекта. Изменения характеристик сырья, износ оборудования, корректировки регламентов и модернизация отдельных узлов приводят к постепенному расхождению виртуальной и физической систем. Без механизмов автоматической генерации и обновления цифровой двойник быстро превращается в статичную цифровую тень, ценность которой для задач управления существенно снижается. Эти ограничения особенно заметны при работе с разнородными технологическими линиями, где требуется оперативное реагирование на отклонения.

Анализ существующих подходов показывает, что перспективным направлением является сочетание методов машинного обучения, опирающихся исключительно на данные, и автоматизированного уравнения-ориентированного моделирования, использующего физические законы и технологические знания [1]. Первые позволяют быстро выявлять скрытые зависимости и адаптироваться к изменяющимся условиям, вторые обеспечивают интерпретируемость и возможность экстраполяции за пределы наблюдаемых режимов. Совместное применение этих подходов открывает путь к построению гибридных моделей, которые могут обучаться и корректироваться с минимальным участием человека. Подобные гибридные решения уже демонстрируют эффективность в ряде отраслей, где требуется баланс между точностью и вычислительной доступностью.

Особое внимание заслуживает вопрос валидации и мониторинга качества модели. Даже при наличии развитых алгоритмов идентификации необходимо располагать средствами, позволяющими своевременно обнаруживать момент, когда расхождение между прогнозом и фактическим поведением объекта превышает допустимый порог. В противном случае решения, вырабатываемые на основе цифрового двойника, могут оказаться не только неэффективными, но и опасными. Без надежных инструментов валидации риск принятия неверных управленческих решений возрастает пропорционально сложности моделируемого объекта.

Переход к полностью автоматической генерации и обновлению цифровых двойников требует решения ряда взаимосвязанных задач. Во-первых, необходимо повысить уровень автоматизации построения уравнения-ориентированных моделей для сложных технологических схем. Во-вторых, следует создать надежные процедуры слияния данных различной природы – от высокочастотных измерений датчиков до редких лабораторных анализов. В-третьих, важна разработка архитектур, допускающих поэтапное уточнение модели без полной ее перестройки. Наконец, нельзя игнорировать вопросы вычислительной эффективности и интеграции с существующими системами АСУ ТП и MES. Решение этих задач формирует основу для более широкого практического внедрения технологии.

Возможности использования цифровых двойников в производственной сфере учреждений ФСИН России заслуживают отдельного рассмотрения. В исправительных учреждениях функционируют разнообразные технологические процессы – от деревообработки и металлообработки до пищевого производства и изготовления изделий легкой промышленности.

Внедрение адаптивных цифровых моделей способно повысить точность планирования загрузки оборудования, снизить потери от простоев и обеспечить более эффективный контроль качества выпускаемой продукции при ограниченных кадровых ресурсах. Гибридные подходы к генерации и актуализации моделей позволяют учитывать специфику работы в условиях режимных объектов, где требования к надежности и безопасности систем управления особенно высоки.

Дополнительный потенциал применения цифровых двойников в системе ФСИН России связан с задачами энергосбережения и оптимизации материальных потоков. Виртуальные модели технологических линий дают возможность проводить сценарный анализ без остановки реального производства, что особенно важно при необходимости оперативной корректировки планов в ответ на изменение объемов заказов или состава сырья. Автоматическое обновление параметров модели на основе данных с датчиков и средств телеметрии снижает зависимость от постоянного присутствия узкопрофильных специалистов и способствует более устойчивому функционированию производственных участков.

Таким образом, развитие средств автоматической генерации и актуализации цифровых двойников представляет собой одно из ключевых направлений совершенствования систем управления технологическими процессами. Успешное решение связанных с этим научных и инженерных задач позволит перейти от разрозненных пилотных проектов к системному использованию цифровых двойников как неотъемлемого элемента промышленной инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Birk W., Hostettler R., Razi M., Atta K., Tammia R.* Automatic generation and updating of process industrial digital twins for estimation and control – A review // *Frontiers in Control Engineering*. 2022. Vol. 3. Article 954858. DOI: 10.3389/fcteg.2022.954858.

Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Григорьев А.О., аспирант

Каменева И.О., кандидат физико-математических наук, доцент

Фирсова С.А., кандидат физико-математических наук, доцент

Шагилова Е.В., кандидат педагогических наук, доцент

(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва)

ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ VM-ШАБЛОНОВ В ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ СЕРВИСОВ ПОРТАЛА «ГОСУСЛУГИ»

Рассматривается разработанная авторами система визуального проектирования VM-шаблонов для автоматизации создания XML- и PDF-документов государственных услуг Единого портала государственных и муниципальных услуг. Актуальность обусловлена трудоёмкостью ручного написания шаблонов на языке Velocity Template Language и разрывом между визуальной моделью услуги и текстовым кодом шаблона. Инструменты реализации: React, Spring Boot, Java 21, PostgreSQL, Apache Velocity. Эксперимент на семи VM-шаблонах объёмом от 249 до 3960 строк подтвердил сокращение числа итераций доработки до 44%, снижение трудозатрат до 34% и уменьшение количества замечаний валидатора в 4–4,7 раза. Определён порог целесообразности генерации – около 850 строк.

Ключевые слова: VM-шаблон, визуальное проектирование, Velocity Template Language, портал «Госуслуги», автоматическая генерация кода, визуальный конструктор услуг, XML, трудозатраты разработки, model-driven engineering.

Grigoryev A.O.

Kameneva I.O.

Firsova S.A.

Shagilova E.V.

IMPLEMENTING VISUAL DESIGN METHODS FOR VM TEMPLATES IN THE DEVELOPMENT PROCESS OF SERVICES FOR THE “GOSUSLUGI” PORTAL

A visual design system for VM templates developed by the authors is considered, intended to automate the creation of XML and PDF documents of public services of the Unified Portal of State and Municipal Services. The relevance is due to the labor intensity of manually writing templates in the Velocity Template Language and the gap between the visual service model and the textual template code. Implementation tools: React, Spring Boot, Java 21, PostgreSQL, Apache Velocity. An experiment on seven VM templates from 249 to 3960 lines confirmed a reduction in revision iterations by up to 44%, a decrease in labor costs by up to 34%, and a 4 to 4.7-fold reduction in validator remarks. The expediency threshold for generation is about 850 lines.

Keywords: VM template, visual design, Velocity Template Language, Gosuslugi portal, automatic code generation, visual service constructor, XML, development labor costs, model-driven engineering.

Введение

Цифровизация государственного управления предполагает масштабное развитие сервисов Единого портала государственных и муниципальных услуг (ЕПГУ). Значительная часть логики описания услуг реализуется через VM-шаблоны на языке Velocity Template Language (VTL) [1]. Такие шаблоны содержат статические фрагменты разметки и динамические конструкции подстановки переменных, условий и циклов; они формируют XML-описания заявлений, передаваемые в информационные системы ведомств, и PDF-документы личного кабинета гражданина. Согласно [1], для каждой услуги разрабатывается от одного до трёх шаблонов со строго регламентированными наименованиями, включающими сервисный код услуги.

При ручном написании шаблонов разработчики сталкиваются с высокой чувствительностью к синтаксису, отсутствием наглядного представления структуры документа и сложностью отладки. Velocity не предоставляет средств валидации формируемого XML, поэтому ошибка в управляющем блоке приводит к некорректному или пустому документу. Дополнительную сложность создаёт разделение ролей: аналитик формирует структуру услуги в визуальном конструкторе услуг (ВКУ) [2, 3], а разработчик вручную прописывает идентификаторы компонентов (с2, с4, s13 и т.п.), по которым извлекаются значения из черновика заявления. Опечатка в идентификаторе приводит к ошибке формирования XML и дополнительным итерациям согласования.

Внедрение визуальных средств проектирования устраняет указанный разрыв: интерактивные блок-схемы автоматически генерируют шаблон на основе JSON-схемы услуги, выгружаемой из ВКУ. Подход соответствует тенденции развития low-code инструментов [4, 5]. Цель исследования – разработать систему визуального проектирования VM-шаблонов и экспериментально оценить её влияние на трудозатраты и качество разработки сервисов портала «Госуслуги».

Обзор источников по теме исследования

В работе [7] рассмотрен подход к построению визуального конструктора программных систем на основе диаграмм связей и теории графов: предметная область формализуется в виде графа, а генерация кода выполняется алгоритмом проверки изоморфизма графов. Тенденции применения платформ визуальной разработки проанализированы в [4] и [5]: систематизированы преимущества отечественных low-code платформ – скорость внедрения и стоимость содержания – и их недостатки; показано, что low-code разработка малоэффективна без классического программирования. Это обосновывает выбранную гибридную стратегию: визуальное задание структуры шаблона с последующей генерацией кода, доступного для ручной доработки. Технологический процесс регламентируют материалы ЕПГУ [1–3], вопросы цифровой трансформации услуг рассмотрены в [6].

Зарубежные исследования в области модельно-ориентированной инженерии подтверждают эффективность шаблонных подходов. В [8] представлен Models2Code, использующий Apache Velocity для автономной генерации кода из моделей; отмечено, что основным ограничением такой генерации является её статический характер. В [9] авторы описывают инструмент MOBICAT, формирующий код интерфейса Android-приложений по UML-диаграммам, а в [10] предложен фреймворк BIT для двунаправленных model-to-text преобразований. Задача визуального проектирования VM-шаблонов применительно к инфраструктуре ЕПГУ в известных публикациях не рассматривалась, что определяет научную новизну работы.

Описание материалов, методов исследования и инструментов

Материалами исследования выступили: методические рекомендации ЕПГУ и технические требования к интерактивным формам [1, 3]; JSON-схемы услуг, выгружаемые из ВКУ; семь реальных VM-шаблонов государственных услуг социальной направленности объёмом

от 249 до 3960 строк; архив версий шаблонов ВКУ. Инструменты реализации: React – frontend конструктора; Spring Boot и Java 21 – серверная логика и REST API; PostgreSQL – хранение схем и истории версий; Jackson ObjectMapper – разбор JSON-схем; Apache Velocity – целевой шаблонный движок; Docker и Git – развёртывание и версионирование.

Архитектура системы построена по клиент-серверной модели: frontend, backend и СУБД взаимодействуют посредством REST API. Backend-приложение многоуровневое – слой контроллеров, слой бизнес-логики, слой доступа к данным на Spring Data JPA и слой генерации шаблонов (рис. 1).

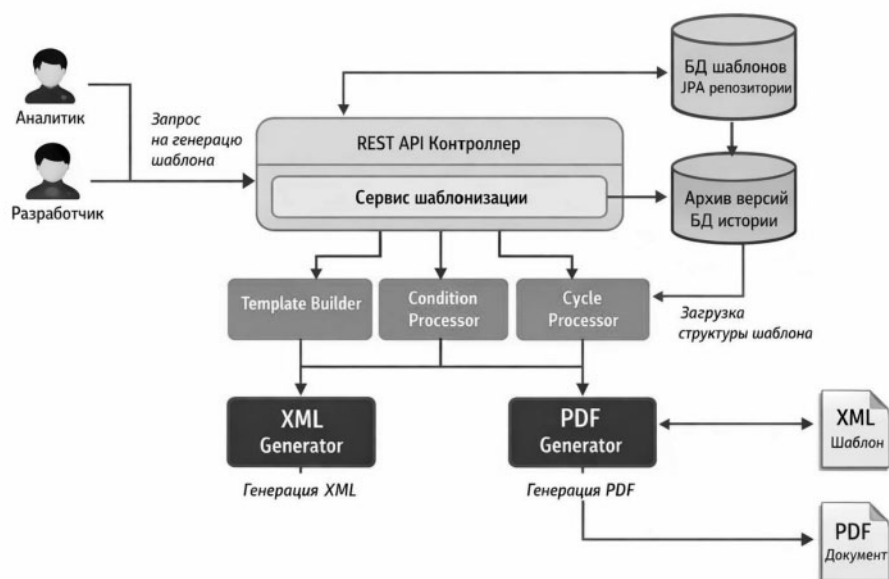


Рис. 1. Схема архитектуры разработанной системы

Модуль генерации разделён на две подсистемы: XML и PDF. В основе работы модуля лежит алгоритм, который первоначально выполняется парсинг JSON-схемы с последующей загрузкой данных. Далее формируется каркас выходного файла, после строятся теги с учетом четырех ключевых атрибутов – пространства имен, наименования элемента, кода и непосредственного содержимого. Преобразование логических условий реализовано через механизм директив пре-процессора (`#if/#elseif/#else`), а циклически повторяющиеся фрагменты кода выносятся в блоки `#foreach`. Финальный файл сохраняется в системе.

Экспериментальная часть строилась на сравнении двух подходов к созданию идентичных шаблонов: классического (ручное написание) и автоматизированного (с применением разработанного инструментария). Оценивалось количество исправлений шаблона до верного решения (количество итераций), суммарное время, которое затратил специалист и число ошибок, выявленных валидатором ВКУ при первичной проверке. Базовые показатели для ручного метода извлекались из архивных логов ВКУ, тогда как для генераторного метода использовалась подсистема контроля версий. Все исследуемые шаблоны разделены по объему: малые (до 300 строк), средние (от 500 до 1500) и крупные (свыше 1500 строк). Помимо абсолютных значений, рассчитывались удельная производительность и процент прироста эффективности.

Результаты исследования

Главная страница модуля разделена на две области: слева – структура XML-шаблона и поля ввода информации об услуге, справа – область загрузки JSON-файла и перечень блоков услуги

Таблица 1

Результаты сравнительного эксперимента на семи VM-шаблонах

№	Объём, строки	Версий, ручное	Версий, генер.	Чел.-ч, ручное	Чел.-ч, генер.	Замеч., ручное	Замеч., генер.
1	249	1	1	2,0	2,0	1	0
2	329	2	2	2,5	2,5	2	0
3	864	4	3	8,0	6,5	4	1
4	1310	4	3	9,0	8,0	5	1
5	2196	6	4	13,0	9,0	8	2
6	3534	8	5	16,0	10,5	12	3
7	3960	9	5	16,0	11,0	14	3



Рис. 4. Количество версий VM-шаблона до достижения финальной

Похожий результат можно проследить и в отношении временных затрат. Так, например, для шаблонов размером от 500–1500 строк (средние) выигрыш во времени составляет около 1–1,5 человеко-часов, но при этом для крупных размеров в >1500 строк разница с ручным составлением шаблона достигает уже 4–5,5 ч. Особенно это заметно на шаблонах, размер которых превышает 3500 строк, где генерация модулем потребовала от разработчика общих трудозатрат в размере 10,5–11 ч против 16 ч при классическом написании, что составляет около 31–34% затраченного времени. По всей выборке из 7 объектов результаты были следующими: суммарные затраты при ручной работе составили 66,5 человеко-часа, тогда как при использовании генератора – лишь 49,5. Таким образом, итоговая разница составила 17 человеко-часов, около 25,6% (рис. 5).



Рис. 5. Трудозатраты на разработку VM-шаблонов

Общее число замечаний при проверке через валидатор сократилось с 46 при ручном написании кода до 10 при генерации, то есть в 4,6 раза; на малых шаблонах замечания отсутствовали (рис. 6).

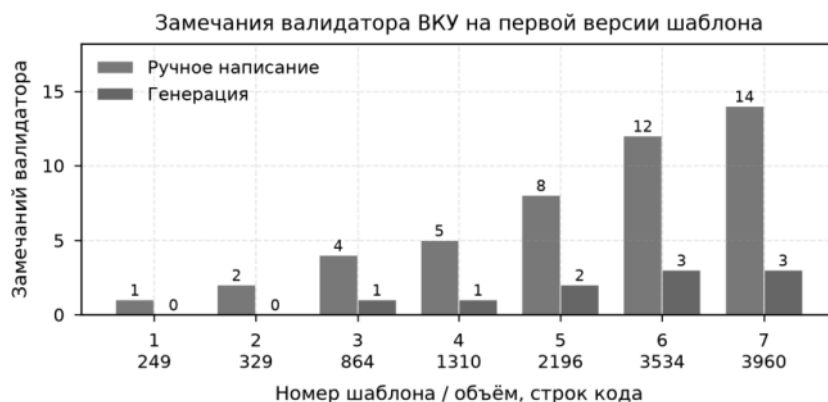


Рис. 6. Замечания валидатора ВКУ на первой версии шаблона

Так же рассчитывалась удельная производительность разработки через отношение объема шаблона в строках кода к затраченному времени. При ручном написании шаблона показатель возрастает с 108–132 до 221–248 строк/чел.-ч, при генерации – до 337–360 строк/чел.-ч, поскольку увеличение объема схемы не приводит к пропорциональному росту числа ручных операций (рис. 7).

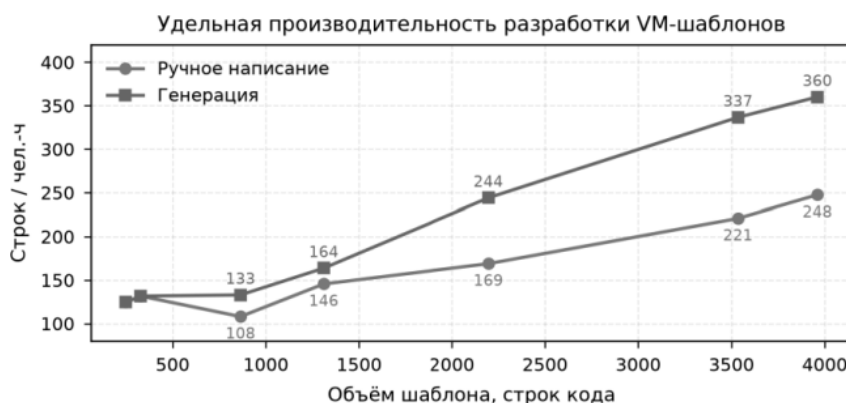


Рис. 7. Удельная производительность разработки VM-шаблонов

Сопоставление относительного выигрыша в зависимости от объема шаблона (рис. 8) позволяет определить порог целесообразности генерации. До объема около 850 строк выигрыш отсутствует: затраты на визуальное описание структуры сопоставимы с затратами на написание шаблона. В интервале 850–2000 строк выигрыш составляет 11–33%, свыше 2000 строк – стабилизируется на уровне 31–44%. Сводные показатели по группам шаблонов приведены в таблице 2.

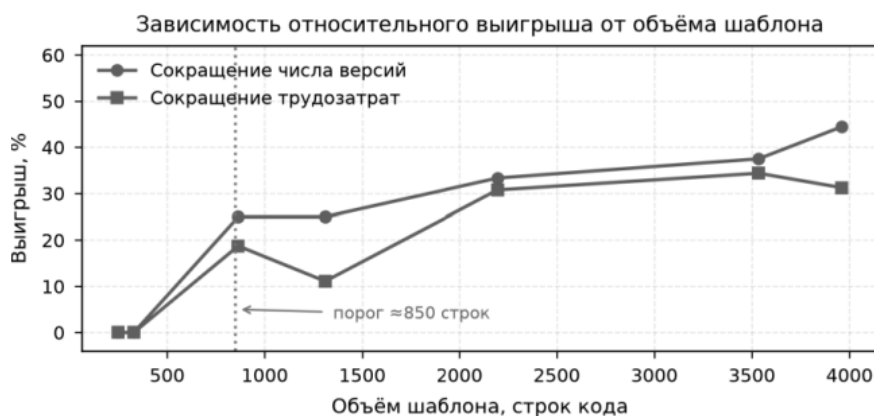


Рис. 8. Зависимость относительного выигрыша от объема VM-шаблона

Таблица 2

Сводные показатели эффективности генерации по группам шаблонов

Показатель	Малые (<300 строк)	Средние (500–1500)	Крупные (>1500)
Сокращение числа версий	0%	25,0%	33,3–44,4%
Сокращение трудозатрат	0%	11,1–18,8%	30,8–34,4%
Снижение числа замечаний	до нуля	в 4–5 раз	в 4–4,7 раза
Удельная производительность	без изменений	рост 12–23%	рост 44–52%
Критичные ошибки VTL	отсутствуют	отсутствуют	отсутствуют

Заключение

Внедрение разработанной авторами системы визуального проектирования VM-шаблонов обеспечивает сокращение трудозатрат, уменьшение числа итераций доработки и повышение согласованности между визуальной моделью услуги и итоговым шаблонным кодом. Основные преимущества решения: автоматическая генерация XML- и PDF-шаблонов на основе JSON-схем ВКУ; визуальное задание условий и циклов без ручного написания VTL-конструкций; исключение ошибок несоответствия идентификаторов компонентов; версионирование и интеграция с тестировщиком VM-шаблонов ЕПГУ.

Экспериментальная проверка на семи реальных шаблонах подтвердила эффективность подхода: число итераций доработки сократилось до 44,4%, трудозатраты – до 34,4%, количество замечаний валидатора снизилось в 4–4,7 раза, удельная производительность разработки крупных шаблонов возросла на 44–52%, а совокупная экономия составила 17 человеко-часов (25,6%). Применение генерации целесообразно при работе с шаблонами от 850 строк и выше. Направлениями дальнейших исследований являются расширение перечня поддерживаемых типов блоков и интеграция автоматической валидации формируемого XML относительно XSD-схем видов сведений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка VM-шаблонов: Единая система контента сайта Госуслуг. URL: info.gosuslugi.ru/articles/Разработка_VM-шаблонов/ (дата обращения: 15.08.2026).
2. Назначение визуального конструктора услуг: Единая система контента сайта Госуслуг. URL: info.gosuslugi.ru/articles/Назначение/ (дата обращения: 15.08.2026).

3. Технические требования к разработке и размещению интерактивных форм. Конструктор. Версия 1.6.8: Единая система контента сайта Госуслуг. URL: clck.ru/3QwPzT (дата обращения: 15.08.2026).
4. Пальмов С.В., Абашии М.П., Гулынин Н.А. Low-code и no-code платформы в Российской Федерации // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. 2024. № 6. С. 107–114. DOI 10.47576/2949-1894.2024.6.6.015.
5. Слотвицкая А.А., Мартынов Б.В., Прокопенко Е.С. Перспективность и эффективность no-code и low-code платформ для автоматизации бизнеса // Вестник кибернетики. 2024. Т. 23, № 2. С. 71–75. DOI 10.35266/1999-7604-2024-2-9.
6. Завьялова Е.А., Погадаева Н.Ю. Цифровая трансформация государственных и муниципальных услуг // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2021. Т. 6, № 2. С. 219–228.
7. Морозова А.Р. Визуальный конструктор программных систем на основе диаграмм связей и теории графов // Актуальные исследования. 2024. № 18 (200). С. 44–46. URL: apni.ru/article/9157-vizualnyj-konstruktor-programmnyh-sistem-na-osnove-diagramm-svyazej-i-teorii-grafov.
8. Bicaku A., Sauter T., Kandasamy N.K. Models2Code: Autonomous model-based generation to expedite the engineering process // Systems Engineering. 2024. DOI 10.1002/sys.21789.
9. Zafar H., Ur Rehman Khan S., Mashkoor A., Nisa H.U. MOBICAT: a model-driven engineering approach for automatic GUI code generation for Android applications // Frontiers in Computer Science. 2024. Vol. 6. DOI 10.3389/fcomp.2024.1397805.
10. Yu Y., Zhu H., Hu Z. BIT: A template-based approach to incremental and bidirectional model-to-text transformation // Journal of Systems and Software. 2024. Vol. 216. DOI 10.1016/j.jss.2024.112148.

Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Вилкова А.В., доктор педагогических наук, профессор, зам. начальника

*Кашкина Е.В., кандидат юридических наук, ведущий научный сотрудник
(Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний)*

ФОРМИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УИС

В статье рассматривается вопрос формирования знаний об информационной безопасности, авторы подчеркивают необходимость ее освоения. Выделяется важность целенаправленного повышения осведомленности за счет обучения, используется периодическая или непрерывная форма обучения. Однако большим эффектом обладает совмещение этих форм и их объединение.

Ключевые слова: *информационная безопасность, методы повышения осведомленности о информационной безопасности, культура информационной безопасности, разработка программ дополнительного обучения.*

Vilkova A.V.

Kashkina E.V.

FORMATION OF KNOWLEDGE ABOUT INFORMATION SECURITY IN THE PENAL SYSTEM

The article considers the formation of knowledge about information security, the authors emphasize the need to master it. The importance of targeted awareness raising through training is highlighted, a periodic or continuous form of training is used. However, combining these forms and combining them has a great effect.

Keywords: *information security, methods of raising awareness about information security, information security culture, development of additional training programs.*

Достаточно часто на практике используется периодическая или непрерывная форма обучения. Однако большим эффектом обладает совмещение этих форм и объединение их одной сквозной темой, понятием или идеей [1]. Например, январь посвящен «Польза правильных паролей» состоящий из нескольких обязательных мероприятий в начале и конце периода. Между ними проводятся дидактические игры с отдельными коллективами по разъяснению на практике важности паролей и научно выверенных принципов безопасности при их формировании и использовании в повседневной жизни. Полученные навыки могут быть разно-уровневые, чтобы охватить обучающихся с разным уровнем подготовки. Следующий месяц может продолжить линию прежнего месяца и увеличить тренд в сторону глобализации, например, «Сам себе администратор». Как показывает личный педагогический опыт преподавания «Основ информационной безопасности» данная тема имеет один из наибольших рейтингов среди практически обучающихся всех уровней. Это вызвано противоположным отношением к термину «Администрирование» и к функции и должности «Администратор» рядовых пользователей и сотрудников с навыками выше среднего, не считая малую группу персонала, относящего себя как раз к «администраторам» или перешагнувших ее в своей квалификации. Данная тема

полезна как на бытовом уровне использования вычислительных средств, так и при выполнении производственных, рабочих задач и обязанностей. По форме обучения целесообразно использовать, конечно, более практически ориентированное представление информации. Бывает целесообразно совмещать различные методы обучения [2].

Ознакомление с администрированием естественно эволюционирует в изучение основ противодействия вредоносным программам и может быть назван месячник «Вирус СТОП» или «Программа иммунизации ПК». По форме обучения целесообразно использовать скоординированные проблемно-ориентированные мероприятия в минигруппах, сформированных по уровню компетенций. Продолжить по нарастающей можно своевременно будет в апреле темой «Месячник сетевой безопасности», сместив акцент в программе повышения квалификации на такие вопросы, как аутентификация пользователей и процесс входа в систему и т.д. В изучении тем основу составляет аутентификация пользователя и разграничения доступа. При этом каждое последующее занятие рассматривает его через призму разных практических вопросов информационной безопасности.

Поэтапное формирование знаний о информационной безопасности представляет собой обманчиво простую концепцию, сочетающую более или менее непрерывную форму обучения с запланированной последовательностью тем и материалов по повышению информационной безопасности [3]. По сути, идея состоит в том, чтобы охватить связанную и согласованную последовательность вопросов информированности в области информационной безопасности, переходя от недели к месяцу, от месяца к месяцу или кварталу за кварталом в соответствии с общим планом обучения.

Одноразовое событие характеризуется большим единичным всплеском числа участников с характерной колоколообразной формой и значительного спада уровня остаточных знаний у сотрудников на долгосрочной перспективе. Поэтапное же формирование представляется волнообразным процессом с растущим положительным средним значением числа обучаемых. Результаты освоения материала в этом подходе имеют такую же временную структуру, как и для единичного мероприятия. Однако на наблюдаемом интервале количество парциальных занятий может быть сколь угодно много, что приводит к кумулятивному накоплению знаний и вовлечению большего числа сотрудников на оцениваемом периоде. Занятия в этом подходе проходят чаще событие обучения предоставляют собой целую серию небольших, отдельных мероприятий или эпизодов, каждый из которых основывается на предыдущем. Дополнительно такой подход может быть быстрее реализован, поскольку каждое событие меньше и сфокусировано на одну узкую конкретную проблему. Эффективность каждого мероприятия может варьироваться, но частое повторение позволяет тем, кто планирует и проводит программу повышения квалификации, тренироваться и постоянно совершенствовать свои навыки.

Со временем поэтапное формирование знаний об информационной безопасности постепенно достигает более широкого круга сотрудников, чем разовое мероприятие.

Поэтапное формирование знаний позволяет одновременно расширять и углублять охват программы повышения квалификации [4]. Более глубокое рассмотрение каждой темы, чем обычно, стирает различие между осознанием и обучением. Это особенно важно для ИТ-специалистов в аудитории, которые в основном находят нормальный контент с информацией о безопасности несколько поверхностным или банальным и, следовательно, скучным.

Постоянное обновление содержания программ обучения также помогает предотвратить скуку на более общем уровне. Старые плакаты, используемые для информирования о безопасности (или даже о здоровье и безопасности, заявлениях о корпоративной миссии и т.д.), как правило, со временем становятся практически невидимыми, так как люди не замечают их – процесс, известный в биологии как аккомодация.

Стоит отметить что корпоративное обучение имеет особенность замкнутой системы с небольшим процентом текучести кадрового состава и значительной долей сотрудников со стажем порядка 5 лет и более. Обучение этого контингента требует ответственное отношение к составлению программ и выбору тем. Но не смотря на качество единожды разработанного материала его восприятие второй и последующий раз одной и той же аудиторией будет малопродуктивно и сотрудники потеряют интерес к занятиям. Через некоторое время такие занятия независимо от того, насколько хорошо они разработаны, будут проигнорированы. Для исключения подобного негативного сценария развития событий необходим творческий и креативный подход к изложению материала, рассмотрение актуальных вопросов киберугроз и информационной безопасности, а также уделять значительное внимание практическим аспектам безопасности, привлекать к проведению интересных высококвалифицированных спикеров с большим практическим опытом и т.д. Обучение в стабильной по численности и составу корпоративной среде обладает еще рядом особенностей как усложняющих так и облегчающих обучение. Положительным моментом может являться применение весьма эффективной формы повышения квалификации как наставничество и метод «учись, обучая». Наставничество не связано со значительными финансовыми затратами и имеет минимальное время запуска информирования коллег по вопросам информационной безопасности, а также это одна из самых эффективных форм передачи практического опыта и навыков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полякова Я.Н.* Формирование культуры информационной безопасности в Федеральной службе исполнения наказаний // Международный научный вестник. 2025. № 10. С. 449–454.
2. *Вилкова А.В., Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Методология формирование знаний об информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Научные труды ФКУ НИИ ФСИН России. Научно-практическое ежеквартальное издание. М., 2024. С. 77–81.
3. *Полякова Я.Н.* Профилактические меры информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Обеспечение безопасности в учреждениях УИС. Сборник статей круглого стола. М., 2024. С. 138–142.
4. *Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Педагогический процесс формирования культуры информационной безопасности в ФСИН России // Вестник Уфимского юридического института МВД России. 2024. № 2 (104). С. 174–181.

*Вилкова А.В., доктор педагогических наук, профессор, зам. начальника
Полякова Я.Н., кандидат психологических наук ведущий научный сотрудник
(Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний)*

МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УИС

В работе авторы показывают важность непрерывного педагогического процесса по освоению информационной безопасности как людям, имеющим непосредственное отношение безопасности так и обычным сотрудникам организаций. Выделяется важность целенаправленного повышения осведомленности за счет непрерывного обучения. Рассматриваются методы, по мнению авторов наиболее эффективных для обучения сотрудников и закрепления знаний. Авторы приходят к мнению о необходимости широкомасштабного информирования и обучения сотрудников в простом и привлекательном стиле, информируя и призывая их к информационной грамотности. Результатом такого педагогического подхода неизбежно формирование культуры информационной безопасности как неотъемлемой части корпоративной культуры.

Ключевые слова: *информационная безопасность, методы повышения осведомленности о информационной безопасности, культура информационной безопасности, разработка программ дополнительного обучения.*

*Vilkova A.V.
Polyakova Ya.N.*

METHODOLOGY OF FORMATION OF KNOWLEDGE ABOUT INFORMATION SECURITY

In the paper, the authors show the importance of a continuous pedagogical process for mastering information security for both people who are directly related to security and ordinary employees of organizations. The importance of purposeful awareness raising through continuous learning is highlighted. The methods considered by the authors are the most effective for training employees and consolidating knowledge. The authors conclude about the need for large-scale information and training of employees in a simple and attractive style, informing and encouraging them to information literacy. The result of such a pedagogical approach is inevitably the formation of an information security culture as an integral part of corporate culture.

Keywords: *information security, methods of raising awareness about information security, information security culture, development of additional training programs.*

Для многих организаций, наиболее значительный риск информационной безопасности составляют не хакеры, трудящиеся далеко за пределами организации, а собственные сотрудники организации и пользователи. Хотя вред удаленно работающих хакеров никто целиком не отрицает, противодействие их атакам является самая очевидная задача и политика по безопасности многократно проработана и очевидны силы и средства противодействия и ликвидации последствий атак. На этом фоне противодействие собственному персоналу является сложной технической и административной задачей. Большинство нарушений безопасности не являются злонамеренными; они являются результатом ошибок, халатности, упущений и просто попыток выполнить работу, не имея необходимых навыков [1, 2].

Общая цель обучения грамотности по информационной безопасности состоит в том, чтобы влиять на поведение всех пользователей, имеющих доступ к корпоративным информационным ресурсам, путем постоянного обучения и поощрения пользователей за соблюдение передовых методов обеспечения безопасности. Эффективно влияя на поведение пользователей, можно использовать ряд сред и дисциплин на регулярной основе.

Рассмотрим эволюцию педагогических методов обеспечения информационной безопасности посредством обучения персонала по программам по направлению информационная безопасность. Программа обучения должна быть [3, 4]:

1. всеобъемлющей и охватывать всех в организации.
2. мотивационной, привлекательной и актуальной.
3. с учетом интересов и компетентности в области информационной безопасности в рамках целевой аудитории.
4. глубоко интегрирована в организацию, являясь неотъемлемой частью стратегии и операций по повышению информационной безопасности.
5. экономически эффективной, чтобы оправдать ее продолжение и развитие.

Единичное, не регулярное обучение информационной безопасности

В начале осознание необходимости грамотности в вопросах информационной безопасности относилось к менеджерам и руководству организаций при этом рядовых сотрудников эти вопросы не касались. Позже организовывались образовательные занятия и тренинги не только для руководства, но и для всех сотрудников в масштабах всей организации и назывались они «дни безопасности» [2, 5]. Существенные усилия направлялись на планирование каждого такого мероприятия, чтобы убедиться, что как можно больше сотрудников посещают занятия. Хотя расходы и были сосредоточены в относительно коротком периоде, они неизбежно были довольно высоки, принимая во внимание потерю производительности, недополученной выручки, а также непосредственные расходы на организацию и проведение мероприятий. Тем не менее, хоть и непродолжительное, разовое событие, посвященное осознанию информационной безопасности, и может охватить значительную часть сотрудников, но впоследствии уровень их знаний постепенно снижается до немногим отличающимся от первоначального состояния.

Перед проведением мероприятия или обучения существует интерес к нему как со стороны руководства, так и со стороны сотрудников. Люди стремятся узнать подробности мероприятия, читают и изучают соответствующую литературу обсуждают планируемые вопросы и темы, что благосклонно сказывается на результатах образования.

Основной вклад в формирование знаний образован двумя фактора: вовлеченность или охватом мероприятия (например, сколько сотрудников на самом деле посещают мероприятие, игнорируя тех, кто не явился по какой-либо более или менее законной причине), а также эффективность или качество мероприятия для повышения знаний. По прошествии некоторого времени полученные знания начинают забываться. С каждым днем все больше и больше людей забывают об образовании и переходят к другим вещам, причем скорость распада снова связана с эффективностью или качеством самого события (более эффективные события более запоминаемы и обеспечивают долгую память). Стоит отметить что некоторые люди все еще могут вспомнить событие прежних времен, возможно, потому, что они регулярно используют полученную информацию, и для некоторых сотрудников эффект является практически постоянным (т.е. они узнали информацию, получили образование и это событие полностью изменило мировоззрение сотрудника и повлияло на его производственную эффективность и самоуважение).

Занимательные и актуальные мероприятия по информированию или обучению могут оказать ощутимое влияние на сотрудников в течение нескольких недель или месяцев, тогда как утомительные, скучные или, казалось бы, неуместные занятия могут быть забыты почти сразу. Понимание такой зависимости часто побуждает руководство прилагать больше усилий для того,

чтобы сделать мероприятия по повышению квалификации интересными и запоминающимися, но это может иметь неприятные последствия, например, если эффект достигается с помощью игр, мультфильмов и тому подобного контента, так что сотрудники воспринимают его как детские и снисходительные развлечения, то существует тонкая грань между поощрением сотрудников развлекаться и получать удовольствие от обучения начальным понятиям по вопросам информационной безопасности в упрощённой форме [6].

Кстати, вводное обучение или ознакомительное обучение нового сотрудника, как правило, проводится в виде отдельного мероприятия для каждого сотрудника, обычно, в виде презентации в классе или семинара, продолжительностью от 10 до 90 минут. Организации, которые берут много новых сотрудников, проводят такие сессии ежедневно или еженедельно; другие обычно запускают их ежемесячно. Более частые занятия могут проводиться как часть довольно интенсивного комплекса мероприятий по повышению квалификации / обучению сотрудников день или неделю, единственное стоит учитывать риск завалить сотрудников новой информацией, что снизит восприимчивость и эффективность занятий [7]. И наоборот, сотрудники, которые приступают к работе сразу после ежемесячной сессии, могут не получать никаких официальных советов или инструкций по информационной безопасности в течение большей части своего первого месяца работы. Кроме того, новые сотрудники демонстрируют тот же спад знаний, как отмечалось выше, поэтому в течение короткого периода времени большинство из них забудут о содержании вводных / ознакомительных занятий. Из этого не следует что такое обучение не являются необходимым, наоборот оно должно привести к расширению кругозора сотрудника в вопросах информационной безопасности и вызвать интерес к всестороннему познанию этого направления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации (утв. Президентом РФ от 9 сентября 2000 г. N Пр-1895).
2. Pedley D., McHenry D., Motha H., Shah J. (2018). Understanding the UK cyber security skills labour market // United States Sentencing Commission, Sentencing Guidelines for United States Courts, http://www.ussc.gov/FEDREG/05_04_notice.pdf.
3. Основные понятия национальной кибербезопасности государств, входящих в Северо-Атлантический альянс [Текст]: монография / Б.А. Швырев. – М., 2018. – 114 с.
4. Вилкова А.В., Литвишков В.М., Швырев Б.А. Проблемы непрерывного обучения персонала информационной безопасности // Мир науки, культуры, образования. 2019. № 4 (77). – С. 29–31.
5. Craig Robert L. The history of training / In: The ASTD Training and Development Handbook, 4th edition, McGraw-Hill, New York, 1996. P. 4.
6. Skudalova O.V., Malanina, Y.N., Tsibizova T.Y., Vilkova A.V., Litvishkov V.M., Shvyrev B.A., Poliakova I.V. Personal factor of a social entrepreneur in the context of the inclusive economy development // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. Vol. 8. No. 8. – P. 2996–3002.
7. Швырев Б.А. Образовательные потребности в информационной безопасности // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 5–1. – С. 31–33.

*Вилкова А.В., доктор педагогических наук, профессор, зам. начальника
Фиалковская Е.В., кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник
(Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний)*

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ, НЕПРЕРЫВНОЕ И РЕГУЛЯРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ФСИН РОССИИ

В статье рассматривается вопрос формирования знаний об информационной безопасности. Выделяется важность целенаправленного повышения осведомленности за счет обучения, используется периодическая или непрерывная форма обучения.

Ключевые слова: информационная безопасность, информационная безопасности, культура информационной безопасности.

*Vilkova A. V.
Fialkovskaya E. V.*

PERIODIC, CONTINUOUS AND REGULAR FORMATION OF KNOWLEDGE ABOUT INFORMATION SECURITY

The article discusses the issue of generating knowledge about information security. The importance of targeted awareness raising through training is highlighted, a periodic or continuous form of training is used.

Keywords: information security, information security, information security culture.

Изменение отношения к информационной безопасности и выработка устойчивой культуры безопасного обращения с информационными ресурсами не может быть достигнута в одночасье, единичными и редкими занятиями по вопросам безопасности. Большинство людей забывают то, что им сказали, в течение относительно короткого периода, если им не напомнить об этом [1, 2].

Периодические программы повышения квалификации увеличивают срок обучения, от одного однодневного ежегодного мероприятия до программ продолжительностью несколько дней. Это может быть более эффективным подходом. Креативность в программах для каждого мероприятия может помочь охватить вопросы безопасности, которые будут беспокоить сотрудников, и использование ярких докладчиков и/или реализация праздничных мероприятий по повышению информационной грамотности [3].

Программы непрерывного информирования являются естественным продолжением периодического подхода, но существует очевидная проблема с гораздо более частым проведением крупных корпоративных мероприятий: резко возрастают затраты и нежелание сотрудников. Следовательно, непрерывная форма обучения обычно включает в себя менее интенсивные и дорогостоящие информационные мероприятия. Решения «по требованию» позволяют сотрудникам получать доступ к информационным или учебным материалам в периоды бездействия или перерыва на работе, когда они чувствуют желание и возникла потребность восполнить знания [4, 5]. Такой подход дает немедленную выгоду сотрудникам, которые уже достаточно образованы, чтобы искать дополнительную информацию о безопасности и обучении, так как никто не заставляет их делать это. Тем не менее, отстающие сотрудники, вряд ли воспользуются этим вариантом, избегая программы повышения квалификации.

Метод «учись, обучая» достаточно многогранен и в полной мере относится как к ученику, так и к преподавателю. В данной работе рассмотрим только одно толкование указанной фразы. Рассмотрим ее как форму внутриколлективного обучения в минигруппах проводимого наиболее подготовленным сотрудником, ранее прошедшим обучение и успешно освоившим его. В таком подходе преподаватель и слушатели из одного коллектива с установившимися межличностными взаимодействиями и способны более эффективно передавать знания наиболее важные для конкретного сотрудника и выполняемых должностных обязанностей. При этом роль спикера может быть не жестко закреплена а переходить по желанию или административным распоряжением к другим сотрудникам группы для объединения коллектива пониманием и ответственностью не только к своим знаниям, но и ответственностью к обучающимся. Примерив роль преподавателя на себя каждый сотрудник как показали наблюдения уже со следующего занятия демонстрирует большее прилежание, дисциплину и ответственность к обучению и освоению изучаемого материала.

Учитывая, что у людей разные интересы в области информационной безопасности, и что каждая тема будет обсуждаться только в течение ограниченного периода времени, прежде чем перейти к следующему, сборник тем, охватываемых программой поэтапного обучения, может получить более широкую привлекательность, чем разовое мероприятие. Тщательный дизайн материалов для каждой темы также помогает, особенно для конкретных групп аудитории в рамках всей организации. Уже упомянули персонал, менеджеров и ИТ-специалистов, но по некоторым темам аудитория часто бывает более узкой (например, администраторы залов, охранники, личные помощники / секретари, персонал службы поддержки и агенты по обслуживанию клиентов обычно играют важную роль в выявление и отражение обычных атак социальной инженерии).

Подход поэтапного обучения имеет еще одно более тонкое преимущество по сравнению с традиционным мероприятием при единичном обучении, а именно то, что рассматриваемые темы не обязательно должны быть полностью заранее определены за несколько месяцев. Имея достаточные ресурсы под рукой (скорее всего, с помощью функциональных экспертов из учебных заведений, сотрудников, специалистов по персоналу, юриспруденции, ИТ, рискам, нормативно-правовому обеспечению, физической безопасности / безопасности на местах и других отделов), вполне возможно исследовать и разрабатывать информационные материалы для новых тем по одной, параллельно с обучением по предыдущих тем. Таким образом, программа может быть динамичной и быстро реагировать на новые риски информационной безопасности по мере их появления. Более того, общая программа более согласованная. Фундаментальные концепции информационной безопасности и конфиденциальности (такие как необходимость защиты конфиденциальности, целостности и доступности информации) неизбежно образуют продольные логические связи, связывающие все темы в единое целое, подкрепляемое фирменным знаком программных материалов.

В условия сложной экономической ситуации любая программа обучения должна оправдывать свое существование, в идеале путем предоставления очевидных преимуществ для бизнеса, которые явно перевешивают затраты. Несмотря на то, что общие затраты на программу поэтапного обучения о информационной безопасности могут соответствовать и, возможно, превышать затраты на однократный подход, она может принести значительно большие выгоды. Ключ к доказательству этого руководству кроется в возможности измерений эффективности обучения, в возможности применения метрик пространства знаний. Метрики – это одна из самых сложных областей информационной безопасности, но даже в этом случае гибкий подход предлагает частичное решение. Поскольку все темы информированности, скорее всего, будут касаться управления, у специалистов по информационной безопасности это возможность предложить и обсудить возможные метрики, связанные с темой, или, по крайней мере, открыть диалог как часть самой программы информирования.

Знание основ информационной безопасности – это связующее, которое объединяет всю систему управления информационной безопасностью и прочно закрепляет безопасность в сознании сотрудников. Сочетание инновационных проектов программ повышения квалификации (таких как поэтапный подход, описанный ранее) с творческими и привлекательными материалами для повышения осведомленности позволяет создать и поддерживать глубоко укоренившуюся, широко распространенную и долгосрочную культуру безопасности в организациях. Объясняя широкий спектр вопросов безопасности в последовательном и привлекательном стиле, информируя и призывая всех в организации к информационной грамотности, постепенно превращает информационную безопасность в неотъемлемую часть корпоративной культуры, и, что самое главное, она может помочь продемонстрировать и действительно максимизировать прибыль от бизнеса и важность для этого информационной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полякова Я.Н.* Формирование культуры информационной безопасности в Федеральной службе исполнения наказаний // Международный научный вестник. 2025. № 10. С. 449–454.
2. *Вилкова А.В., Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Методология формирования знаний об информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Научные труды ФКУ НИИ ФСИН России. Научно-практическое ежеквартальное издание. М., 2024. С. 77–81.
3. *Полякова Я.Н.* Профилактические меры информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Обеспечение безопасности в учреждениях УИС. Сборник статей круглого стола. М., 2024. С. 138–142.
4. *Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Педагогический процесс формирования культуры информационной безопасности в ФСИН России // Вестник Уфимского юридического института МВД России. 2024. № 2 (104). С. 174–181.
5. *Лукашенко Д.В.* Нейротехнологии в моделировании задач обработки данных ФСИН России // Естественные и технические науки. 2025. № 1 (200). С. 27–29.

Дмитриев Г.Г., доктор юридических наук, профессор, ведущий научный сотрудник (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

Бодяков В.Н., кандидат юридических наук, доцент (Владимирский юридический институт Федеральной службы исполнения наказаний)

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ РАБОТЕ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

В статье рассматривается вопрос информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе при работе в сети интернет.

Ключевые слова: *информационная безопасность, уголовно-исполнительная система, сеть интернет.*

Dmitriev G.G.

Bodyakov V.N.

INFORMATION SECURITY IN THE PENITENTIARY SYSTEM WHEN WORKING ON THE INTERNET

In the article considers the issue of information security in the penitentiary system when working on the Internet.

Keywords: *information security, penal system, Internet.*

Изменение отношения к информационной безопасности и выработка устойчивой культуры безопасного обращения с информационными ресурсами не может быть достигнута в одночасье, единичными и редкими занятиями по вопросам безопасности.

Интернет основан на модели передачи информации, называемой **коммутацией пакетов**. Каждый раз, когда информация передается через Интернет, она разбивается на пакеты двоичных данных. Пакеты кодируются и отправляются независимо по сети, возможно, по разным маршрутам, и информация повторно собирается на принимающей стороне. Этот режим передачи называется коммутацией пакетов, в отличие от коммутации каналов.

Интернет «глуп» в том смысле, что все, что он умеет делать, это доставлять пакеты от источника, подключенного к сети, к месту назначения, подключенному к сети. Все службы возникают на границе интернета в подключенных к нему компьютерах. Это в отличие от ТСОП, где интеллект находится в центре сети (на коммутаторе), а пользовательские инструменты на краю имеют мало функциональности, кроме использования устройств для разговора и прослушивания [1].

Интернет глобален. Он соединяет многие страны, и информация, как правило, свободно течет через национальные границы. Эта характеристика порождает интересные политические проблемы, не обязательно непосредственно связанные с безопасностью. ТСОП также носит глобальный характер, но методы доступа к телефонам в разных странах не столь непрозрачны, как в случае с Интернетом. Пользователь знает, что он набирает номер в другой стране,

например, в то время как он может получить доступ к веб-сайту, не зная, где расположены серверы [2].

Интернет открыт. Формально определяемая как любая сеть использующая семейство протоколов, известных как TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol), способная успешно соединиться с Интернетом и стать его частью. Стандарты, определяющие это семейство протоколов, взяты из работы целевой группы по разработке Интернета (IETF), неофициального технического органа, основанного на технической меритократии и создании реализуемых консенсусных стандартов [3].

Интернет децентрализован. Нет общесистемных привратников. Если вы соблюдаете «правила дорожного движения», то есть стандарты TCP/IP, вы можете подключить свой компьютер или свою сеть к интернету.

Интернет в изобилии. Барьеры для входа невелики, и объем полосы пропускания (то есть скорость передачи данных через нее) зависит от пропускной способности медных проводов, оптоволоконных линий или спутниковых каналов, которые обеспечивают доступ к Интернету и передачу данных. Никакой ограниченный электромагнитный спектр не задействован для магистрали Интернета. Там, где используется радиочастотный спектр, например, при развертывании локальных беспроводных сетей, часто называемых «Wi-Fi», соответствующие протоколы или правила реализуются механизмами совместного использования доступного спектра частот, а не жесткого распределение, которое в конечном итоге запрещает доступ к сети [4].

Интернет относительно недорог для среднего пользователя в тех частях мира, где местные звонки бесплатны.

В таких странах цены на доступ по коммутируемым линиям, в киберкафе и других публичных точках доступа в интернет снижаются, так что доступ становится в целом доступным для большей части населения мира.

Интернет разрушает традиционный барьер между автором и издателем. Вы можете стать издателем или установить сетевую службу на своем компьютере, если он постоянно подключен к интернету. Вы можете рекламировать эти услуги, и при наличии установленных вами разрешений любой другой пользователь, подключенный к Интернету, может подключиться к вашему компьютеру и использовать эти услуги. Интернет в целом управляется пользователем. Во многих странах вы можете выбрать, должны ли ваши сообщения и другие передачи быть зашифрованы или нет [5].

Кроме того, фильтрация сообщений по любой причине находится под вашим контролем, хотя вы можете захотеть, чтобы внешний источник сделал это за вас, например, проинструктировав Вашего интернет-провайдера (ISP) отфильтровывать спам-сообщения в соответствии с установленными вами правилами.

Интернет является интерактивным. Вы можете быстро и легко переключаться между доступом к нескольким поставщикам контента и отправкой и получением электронной почты со многими людьми. Хотя время ожидания онлайн-услуг зависит от размера или пропускной способности вашего подключения к интернету, часто можно получить время отклика, которое будет приемлемым для вашей деятельности [6].

Интернет может быть уязвим. Первоначально на основе концепции предоставления услуг относительно однородной, сотрудничающей группе людей некоторые аспекты доверия предполагались, а не требовались для строгой проверки [7].

Исходя из вышеизложенных характеристик, пользователи должны получить представление об Интернете, который поддерживает и развивает многие виды деятельности человека, а не тот, который является ограниченным и контролируемым. Эта открытость в значительной степени отражает академические и исследовательские корни интернета и отвечает за его полезность

для всех нас. Интернет был создан не для того, чтобы обеспечить максимальную безопасность, а для того, чтобы максимизировать плоды совместной работы. Такая степень открытости предоставила некоторым людям возможность злоупотреблять сетью в зловердных целях. Необходимо понимать эти цели и научиться противостоять им.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Da Veiga A., Astakhova L.V., Botha A., Herselman M.* Defining organisational information security culture – Perspectives from academia and industry. May 2020. Computers & Security 92:101713. 10.1016/j.cose.2020.101713
2. *Mahmudova R.* Protection of personal information and information security culture. November 2019. Conference: İnformasiya təhlükəsizliyinin aktual multidissiplinar elmi-praktiki problemləri. 10.25045/NCInfoSec.2019.57
3. *Astakhova L.V.* (2018) Development of students trust culture in the context of information security. Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Pedagogical Science, 10 (1), 63–70.
4. *Полякова Я.Н.* Формирование культуры информационной безопасности в Федеральной службе исполнения наказаний // Международный научный вестник. 2025. № 10. С. 449–454.
5. *Вилкова А.В., Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Методология формирование знаний об информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Научные труды ФКУ НИИ ФСИН России. Научно-практическое ежеквартальное издание. М., 2024. С. 77–81.
6. *Полякова Я.Н.* Профилактические меры информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Обеспечение безопасности в учреждениях УИС. Сборник статей круглого стола. М., 2024. С. 138–142.
7. *Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Педагогический процесс формирования культуры информационной безопасности в ФСИН России // Вестник Уфимского юридического института МВД России. 2024. № 2 (104). С. 174–181.

*Дмитриев Г.Г., доктор юридических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник
(Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказа-
ний)*

*Бодяков В.Н., кандидат юридических
наук, доцент
(Владимирский юридический институт
Федеральной службы исполнения наказа-
ний)*

ОБУЧЕНИЕ КУЛЬТУРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ В ФСИН РОССИИ

В статье речь идет об обучении культуре информационной безопасности в сети интернет. Информационная безопасность играет первостепенную роль в создании условий, необходимых для успешной реализации развития производства и общественной и социальной жизни страны, и перехода к цифровой экономике.

Ключевые слова: культура информационной безопасности, интернет, информационно-коммуникативные технологии.

**Dmitriev G.G.
Bodakov V.N.**

INFORMATION SECURITY CULTURE EDUCATION ON THE INTERNET

In the article is about teaching the culture of information security on the Internet. Information security plays a primary role in creating the conditions necessary for the successful implementation of the development of production and social and social life of the country, and the transition to a digital economy.

Keywords: information security culture, Internet, information and communication technologies.

Последние несколько лет ознаменовались возросшей ролью информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в социально-экономическом развитии. Обеспечение эффективного использования ИКТ невозможно в отсутствие безопасной и надежной информационно-коммуникационной среды. Таким образом, информационная безопасность играет первостепенную роль в создании условий, необходимых для успешной реализации развития производства и общественной и социальной жизни страны, и перехода к цифровой экономике [1].

В настоящее время актуальной темой является обеспечение информационной безопасности.

Вычислительная и сетевая среда, из которой развился современный интернет, берет свое начало в культуре совместных исследований и образования. Когда ARPANET, предшественник интернета, был впервые реализован, главной целью было совместное использование ресурсов между группами исследователей в разных географических точках [2–4].

Группы имели схожие цели и работали над тем, чтобы совместно использовать как вычислительные ресурсы, так и данные. Доступ к сети был ограничен членами группы, поэтому в то время не было необходимости беспокоиться о безопасности. Цель и дизайн Всемирной паутины иллюстрируют это. Она предоставляет существенно лучшие инструменты для обнаружения информационных ресурсов и предоставления своей собственной информации другим, без каких-либо механизмов получения разрешений или облегчения финансовых расчетов [5, 6].

Культура обмена информацией между исследователями и академиками, которая была рождена и возвращена ARPANET, просуществовала до 1990-х годов, и ее остатки все еще существуют сегодня. Она включала в себя идею *сделать информацию как можно более доступной*, и эта традиция все еще существует в концепции Всемирной паутины, где контент всех видов предоставляется почти бесплатно сотням миллионов людей по всему миру. Это была сильная культура, и она во многом была ответственна за то, почему интернет вырос до таких огромных размеров сегодня. Его этика отражена в словах людей, которые являются интернет – «евангелистами», и которые видят силу среды для развития и работают над развитием Интернета и воплощением идей. Иногда называемый духом интернета, концепция выражается в мантре о том, что «информация хочет быть свободной» [7].

Альтернативный способ описания этой ситуации заключается в том, что ранний интернет был основан на доверии. Сообщество пользователей безоговорочно доверяло друг другу, чтобы работать на общее благо. По мере того как интернет расширял свой охват и охватывал все больше и больше людей с различными интересами и целями, модель доверия стала недостаточной. Одной из главных задач современного Интернета является разработка новой модели доверия, которая была бы реалистичной, простой в реализации и эффективной в применении [8–10].

Интернет отличается от более ранних коммуникационных систем множеством способов, но некоторые из них особенно важны. Некоторые различия лучше всего понять, если сравнить их с коммутируемой телефонной сетью общего пользования (ТСОП), которая ежедневно используется во всем мире [11, 12].

Интернет основан на модели передачи информации, называемой *коммутацией пакетов*. Каждый раз, когда информация передается через Интернет, она разбивается на пакеты двоичных данных. Пакеты кодируются и отправляются независимо по сети, возможно, по разным маршрутам, и информация повторно собирается на принимающей стороне. Этот режим передачи называется коммутацией пакетов, в отличие от коммутации каналов. Коммутируемая телефонная сеть общего пользования использует коммутацию каналов, в которой каждому телефонному звонку выделяется одна цепь на время разговора, независимо от того, сколько или как мало звука передается в данный момент.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Vilkova A., Litvishkov Vl., Shvyrev B.* The pedagogical approach to the development of information security culture. PEHPP 2019. Pedagogical Education: History, Present Time, Perspectives. EpSB S. 10.15405/epsbs.2020.08.02.102
2. *Orehek Š., Petrič G.* A systematic review of scales for measuring information security culture. December 2020. Information and Computer Security. 10.1108/ICS-12-2019-0140 <https://www.emerald.com/insight/2056-4961.htm>
3. *Ruhwanya Z., Ophoff J.* Critical Analysis of Information Security Culture Definitions. In book: Human Aspects of Information Security and Assurance. August 2020. 10.1007/978-3-030-57404-8_27
4. *Solomon G., Brown I.* The influence of organisational culture and information security culture on employee compliance behaviour. October 2020. Journal of Enterprise Information Management. 10.1108/JEIM-08-2019-0217
5. *Da Veiga A., Astakhova L.V., Botha A., Herselman M.* Defining organisational information security culture – Perspectives from academia and industry. May 2020. Computers & Security 92:101713. 10.1016/j.cose.2020.101713
6. *Mahmudova R.* Protection of personal information and information security culture. November 2019. Conference: İnformasiya təhlükəsizliyinin aktual multidissiplinar elmi-praktiki problemləri. 10.25045/NCInfoSec.2019.57

7. *Astakhova L.V.* (2018). Development of students trust culture in the context of information security. Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Pedagogical Science, 10 (1), 63–70.
8. *Da Veiga A., Eloff J.H.P.* (2010). A framework and assessment instrument for information security culture. Computer and Security, 29 (2), 196–207.
9. *Kozlov O.A., Undozerova A.N.* (2017). Information culture of the individual in the context of the development of modern information society. Man and Education, 4 (53), 46–52.
10. *Lejaka T., Veiga A., Looock M.* (2019). Cyber Security Awareness for Small, Medium and Micro Enterprises (SMMEs) in South Africa, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICTAS.2019.8703609>
11. *Rudinskiy I., Okolot D. Ya.* The formation of information security culture of college students. December 2019. Informatics and Education. 10.32517/0234-0453-2019-34-9-29-36.
12. *Akhyari bin Nasir, Ruzaini Abdullah, Abdullah Arshah, Mohd Rashid Ab Hamid.* A dimension-based information security culture model and its relationship with employees' security behavior: A case study in Malaysian higher educational institutions. July 2019. Information Security Journal A Global Perspective 28 (2): 1–26. 10.1080/19393555.2019.1643956

*Ковалев О.Г., доктор юридических наук,
кандидат психологических наук, профес-
сор, главный научный сотрудник
(Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказа-
ний)*

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В статье речь идет об особенностях применения нейросетей в иноязычном обучении будущих специалистов в сфере права в УИС.

Ключевые слова: искусственный интеллект, информационное пространство, исследование, уголовно-исполнительная система, право.

Kovalev O.G.

INFORMATION SECURITY WHEN USING NEURAL NETWORKS WHEN TRAINING SPECIALISTS OF THE PENITENTIARY SYSTEM

In the article we are talking about the features of the use of neural networks in foreign-language training of future specialists in the field of law in the penal system.

Keywords: artificial intelligence, information space, research, penal system, law.

В настоящее время технологии искусственного интеллекта стали неотъемлемой частью нашего бытия. Развитие искусственного интеллекта постоянно интегрируется в информационное пространство, вызывая повышенный интерес в различных областях, в том числе и в образовании. Вопрос использования искусственного интеллекта в обучении иностранным языкам находится сегодня в центре внимания исследователей. Как показывает ряд научных исследований выделяется существенный потенциал новых педагогических возможностей, которые могут быть использованы для повышения эффективности преподавания и улучшения качества образования [1].

Искусственный интеллект способен персонализировать методы и приемы обучения иностранным языкам в соответствии с уникальными потребностями обучаемых, обеспечивая оперативную обратную связь и автоматизируя административные запросы. Кроме того, ИИ может быть полезен при выставлении оценок, что позволяет преподавателям сконцентрироваться на разработке курсов и обеспечении высокого качества обучения. Многочисленные виртуальные помощники, встроенные в нейронные сети, значительно облегчают процесс изучения иностранного языка. Данные платформы помогают преодолеть многие трудности, предоставляют ответы на вопросы обучаемых, обеспечивают доступ к необходимой учебной литературе, проводят консультации и поддерживают постоянное онлайн взаимодействие [2].

Совершенно очевидно, что с наступлением необратимого процесса в эру нейронных сетей и ИИ образовательным учреждениям и обществу необходимо больше развивать инновационные цифровые технологии. Это также выдвигает новые требования к реформе аудиторного обучения на основных ступенях образования и, в том числе, в преподавательской деятельности. Развитие информационных технологий привело к оцифровке преподавания. Постепенно выявляются недостатки традиционной модели обучения. Сочетание преподавания различных дисциплин с искусственным интеллектом (ИИ), большими данными и различными сетевыми технологиями позволяет использовать новые технические средства для преобразования традиционных

аудиторий в интеллектуальные. Интеллектуальный класс объединяет учебный материал и информационные технологии с целью придать новое, более увлекательное измерение традиционному учебному процессу. В таком классе студенты могут исследовать, сотрудничать и общаться в интеллектуальной образовательной среде, проявляя свою собственную инициативу в процессе обучения. Кроме того, преподаватели имеют возможность взаимодействовать с учащимися в реальном времени через различные образовательные платформы [3]. Таким образом, обучение становится не просто статичным, а живым и динамичным.

Вопреки явным преимуществам, нейронные сети и искусственный интеллект обладают рядом существенных недостатков, которые могут негативно сказаться на процессе изучения иностранных языков. Проблемы, связанные с использованием искусственного интеллекта, включают в себя: 1. Недостаток данных. 2. Нежелательное переобучение. 3. Недостоверность информации. 4. Отсутствие прозрачности. 5. Этические вопросы. 6. Зависимость от технологий и интернета. 7. Попытка замены учителя. Кроме того, необходимо учитывать следующие недостатки при применении искусственного интеллекта:

1. Переоценка: информация в тексте хорошо структурирована, но остается поверхностной;
2. Отказ от контроля: искусственный интеллект также может допускать ошибки и не способен оценить свою объективность или доказать свою правоту;
3. Отсутствие новых идей: ИИ может генерировать новые тексты, но не способен создавать новые идеи;
4. Новый интернет-мусор: если не провести критическую обработку этих текстов и не внести в них свои идеи, использование искусственного интеллекта может привести к созданию большого количества бесполезной информации в интернете;
5. Боязнь общения с ИИ: существует опасность, что многие пользователи, особенно дети, могут потеряться в чате и начать рассматривать ChatGPT как настоящего собеседника, с которым можно общаться на равных.

Автор курса рекомендует использовать следующие ресурсы в образовательном процессе: «Chat YandexGPT» для общения, «Шедеврум» и «Ru-Dall-E» для генерации картинок по словесному описанию, а также сервис «Zvukogram» для умной озвучки текста [4].

Исследования, проведенные на примере нейронной сети Twee, действующей как виртуальный ассистент преподавателя английского языка, позволили выявить ее лингводидактический потенциал, функциональные особенности, сильные и слабые стороны, а также оценить ее применимость для педагогических задач. Вывод был сделан о том, что нейронная сеть Twee представляет собой значимый шаг в интеграции технологий искусственного интеллекта в методологию преподавания иностранного языка. Однако, несмотря на явные преимущества, она не может полностью заменить учителя английского языка, а будет использоваться как дополнительный образовательный инструмент [5, 6].

Таким образом, можно сделать вывод, что использование искусственного интеллекта и нейронных сетей позволяет создавать уникальный образовательный контент и коммуникативные упражнения для развития профессиональной речевой деятельности и языковых аспектов, за исключением фонетики. Однако нейросети могут также создавать проблемы в обучении, так как доступны не только преподавателям, но и студентам, которые могут использовать их для написания эссе, устных высказываний и составления словарей. Все эти противоречия и вопросы требуют дальнейшего изучения и анализа в будущих исследованиях по методике преподавания иностранных языков с применением технологий искусственного интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полякова Я.Н. Формирование культуры информационной безопасности в Федеральной службе исполнения наказаний // Международный научный вестник. 2025. № 10. С. 449–454.

2. *Вилкова А.В., Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Методология формирование знаний об информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Научные труды ФКУ НИИ ФСИН России. Научно-практическое ежеквартальное издание. М., 2024. С. 77–81.
3. *Полякова Я.Н.* Профилактические меры информационной безопасности в уголовно-исполнительной системе / В сборнике: Обеспечение безопасности в учреждениях УИС. Сборник статей круглого стола. М., 2024. С. 138–142.
4. *Швырев Б.А., Полякова Я.Н.* Педагогический процесс формирования культуры информационной безопасности в ФСИН России // Вестник Уфимского юридического института МВД России. 2024. № 2 (104). С. 174–181.
5. *Лукашенко Д.В.* Нейротехнологии в моделировании задач обработки данных ФСИН России // Естественные и технические науки. 2025. № 1 (200). С. 27–29.
6. *Чорный В.Н., Сенатова Е.В.* Законодательство, регулирующее обеспечение безопасности уголовно-исполнительной системы Российской Федерации // Ведомости уголовно-исполнительной системы. 2022. № 12. С. 30–39.

Информатика и информационные процессы

*Лукашенко Д.В., доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник
(Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний)*

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ (ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ФСИН РОССИИ)

В статье рассматривается роль распределенного машинного обучения в оптимизации информационных процессов, возникающих при обработке больших объемов данных. Показано, что классические централизованные подходы к обучению моделей сталкиваются с ограничениями по вычислительным ресурсам, времени обработки и масштабируемости. На основе анализа современных подходов выделены основные направления распределения данных и моделей, особенности параллелизации алгоритмов классификации, кластеризации и глубокого обучения. Особое внимание уделено проблемам коммуникации между узлами, агрегации результатов и обеспечению сходимости. Отдельно рассмотрены возможности использования распределенных методов в информационных системах Федеральной службы исполнения наказаний (ФСИН России) для повышения эффективности обработки данных о контингенте, прогнозирования рисков и обеспечения безопасности информационных процессов. Сделан вывод о том, что распределенные методы позволяют существенно сократить время обучения и повысить устойчивость информационных процессов к росту объема данных. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании масштабируемых систем аналитики и интеллектуальной обработки информации, в том числе в ведомственных структурах.

Ключевые слова: информационные процессы, распределенное машинное обучение, большие данные, глубокое обучение, масштабируемость, параллельная обработка, ФСИН России.

Lukashenko D.V.

DISTRIBUTED MACHINE LEARNING AS A MEANS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF INFORMATION PROCESSES IN BIG DATA PROCESSING SYSTEMS (POSSIBILITIES OF APPLICATION IN THE FEDERAL PENITENTIARY SERVICE OF RUSSIA)

The paper examines the role of distributed machine learning in optimizing information processes that arise when processing large volumes of data. It is shown that classical centralized approaches to model training face limitations in computational resources, processing time and scalability. Based on the analysis of modern approaches, the main directions of data and model distribution, features of parallelization of classification, clustering and deep learning algorithms are identified. Special attention is paid to the problems of communication between nodes, aggregation of results and ensuring convergence. Separately, the possibilities of using distributed methods in the information systems of the Federal Penitentiary Service of Russia (FSIN of Russia) to improve the efficiency of processing data on the contingent, risk forecasting and ensuring the security of information processes are considered. It is concluded that distributed methods make it possible to significantly reduce training time and increase the resilience of information processes to data volume growth. The obtained results can be used in the design of scalable analytics and intelligent information processing systems, including in departmental structures.

Keywords: *information processes, distributed machine learning, big data, deep learning, scalability, parallel processing, Federal Penitentiary Service of Russia, cybersecurity.*

Современные информационные процессы все чаще связаны с необходимостью обработки массивов данных, объем которых измеряется терабайтами и петабайтами. Классические алгоритмы машинного обучения, ориентированные на централизованную обработку, в таких условиях демонстрируют существенное снижение эффективности. Возникает необходимость в методах, позволяющих распределять вычислительную нагрузку между несколькими узлами без потери качества модели. Распределенное машинное обучение представляет собой одно из наиболее перспективных направлений решения этой задачи. Оно позволяет не только ускорить обучение, но и обеспечить устойчивость информационных процессов к росту объема и сложности данных. В настоящей работе предпринята попытка систематизировать ключевые подходы к распределению вычислительных процедур и оценить их влияние на характеристики информационных процессов.

Информационный процесс в системах аналитики больших данных включает этапы сбора, предварительной обработки, обучения модели и извлечения знаний. На этапе обучения наибольшие затраты времени и ресурсов приходятся на итеративные вычисления. Распределение этих вычислений может осуществляться двумя основными способами: по данным (*data parallelism*) и по модели (*model parallelism*).

При параллелизме по данным исходный набор разбивается на части, каждая из которых обрабатывается на отдельном узле. После локального обновления параметров производится их агрегация. Такой подход хорошо подходит для задач классификации и кластеризации, где объемы данных велики, а модель относительно компактна. Параллелизм по модели, напротив, предполагает разделение самой модели между узлами. Этот вариант оказывается предпочтительным при работе с глубокими нейронными сетями, содержащими миллионы и миллиарды параметров.

Как отмечают исследователи, в последние годы наибольшее внимание уделяется именно распределенному глубокому обучению [1]. Это объясняется тем, что глубокие архитектуры демонстрируют высокую точность на сложных задачах, однако требуют значительных вычислительных ресурсов. Распределение позволяет преодолеть ограничения отдельной машины и сохранить приемлемое время обучения.

Одним из критических факторов, влияющих на эффективность информационных процессов, является объем межмашинного обмена. При синхронной агрегации все узлы ожидают завершения работы самого медленного участника. Это приводит к простоям и снижению общей производительности. Асинхронные схемы частично решают проблему, однако могут ухудшать сходимость. Выбор стратегии агрегации (усреднение градиентов, взвешенное объединение, использование параметрических серверов) напрямую влияет на устойчивость информационного процесса.

Кроме того, при распределении возникает задача обеспечения согласованности параметров модели. Несогласованность может привести к расхождению результатов и снижению качества итоговой модели. Современные реализации стремятся минимизировать коммуникационные издержки за счет компрессии градиентов, квантования и локальных обновлений.

Применение распределенных методов изменяет временные характеристики информационного процесса. Время обучения сокращается пропорционально числу узлов при условии, что коммуникационные затраты остаются приемлемыми. Одновременно повышается масштабируемость системы: добавление новых вычислительных ресурсов позволяет обрабатывать все более крупные наборы данных без принципиального изменения архитектуры.

Важным следствием является также повышение отказоустойчивости. При выходе из строя одного узла процесс может продолжаться на оставшихся, что критично для промышленных и научных систем, где непрерывность обработки информации имеет первостепенное значение.

Распределенное машинное обучение открывает перспективы для оптимизации информационных процессов в ведомственных системах Федеральной службы исполнения наказаний России. Обработка больших массивов данных о спецконтингенте, результатах оперативно-розыскной деятельности и показателях безопасности учреждений требует высокой скорости анализа и устойчивости к росту объемов информации. Применение параллелизма по данным позволяет распределять нагрузку между территориальными подразделениями, обеспечивая оперативное обновление прогнозных моделей без концентрации всех сведений на едином сервере.

Кроме того, использование распределенных подходов способствует повышению защищенности информационных процессов ФСИН России. Локальная обработка чувствительных данных на уровне отдельных учреждений с последующей безопасной агрегацией параметров моделей снижает риски утечек и соответствует требованиям к конфиденциальности. Такие решения могут быть востребованы при построении систем раннего выявления рисков, прогнозирования рецидивной преступности и мониторинга состояния инфраструктуры исправительных учреждений.

Распределенное машинное обучение существенно расширяет возможности оптимизации информационных процессов в условиях роста объемов данных. Оно позволяет преодолеть ограничения централизованных подходов, сократить время обучения и повысить устойчивость систем. Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на снижении коммуникационных накладных расходов, разработке универсальных бенчмарков и повышении интерпретируемости распределенных моделей. Полученные результаты подтверждают, что интеграция распределенных алгоритмов в информационные процессы становится необходимым условием построения эффективных аналитических систем следующего поколения, в том числе в структурах, связанных с обеспечением безопасности и правопорядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегани М., Язданпараст З. От распределенного машинного обучения к распределенному глубокому обучению: комплексный обзор // *Journal of Big Data*. 2023. Т. 10. Ст. 158. DOI: 10.1186/s40537-023-00829-х.

*Намаева М.М., старший преподаватель
Садулаев Т.А.
(Грозненский государственный нефтяной
технический университет имени академи-
ка М.Д. Миллионщикова)*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ В ПЕДАГОГИКЕ

В условиях интенсивной цифровизации образовательной среды и одновременного усложнения требований к качеству подготовки обучающихся информационные технологии начинают рассматриваться не только как технический ресурс, обеспечивающий доступ к учебным материалам, но и как педагогически значимый инструмент, позволяющий реализовывать индивидуализацию обучения за счет адаптации содержания, темпа, форматов и способов взаимодействия в зависимости от образовательных потребностей, когнитивных особенностей и мотивационной структуры каждого обучающегося, что в современных исследованиях педагогики связывается с переходом от унифицированной модели массового обучения к гибкой модели персонализированного образовательного процесса.

Ключевые слова: информационные технологии, индивидуализация обучения, персонализация образования, цифровая.

*Namayeva M.M.
Sadulaev T.A.*

INFORMATION TECHNOLOGY AS A TOOL FOR INDIVIDUALIZING LEARNING IN PEDAGOGY

In the context of the intensive digitalization of the educational environment and the simultaneous complication of requirements for the quality of student training, information technology is beginning to be considered not only as a technical resource providing access to educational materials, but also as a pedagogically significant tool that allows for the individualization of learning by adapting the content, pace, formats and methods of interaction depending on educational needs, cognitive characteristics and motivational structure of each student, what is associated in modern pedagogical research with the transition from a unified model of mass education to a flexible model of a personalized educational process.

Keywords: information technology, individualization of education, personalization of education, digital.

Современная педагогическая теория и образовательная практика все чаще сталкиваются с необходимостью преодоления противоречия между массовым характером школьного и вузовского образования, предполагающим единый темп, единое содержание и унифицированные формы контроля, и объективной индивидуальной неоднородностью обучающихся, проявляющейся в различиях когнитивного развития, темпа усвоения, мотивации, интересов, уровня базовой подготовки и психофизиологических особенностей, что делает традиционную модель обучения недостаточно эффективной в условиях усложнения образовательных задач и роста требований к результатам обучения.

В связи с этим индивидуализация обучения, рассматриваемая в педагогике как целенаправленный процесс учета индивидуальных особенностей учащихся при организации образовательной деятельности, приобретает особую актуальность, однако ее реализация в условиях реальной образовательной системы зачастую затруднена ограниченностью времени педагога, большим количеством обучающихся в группе, недостатком диагностических инструментов и невозможностью постоянного мониторинга индивидуального прогресса каждого ученика [1].

В данной ситуации информационные технологии, которые первоначально воспринимались преимущественно как средство повышения доступности учебных материалов и расширения информационного пространства обучения, приобретают новое значение, поскольку современные цифровые платформы, электронные образовательные ресурсы, адаптивные системы и инструменты аналитики позволяют собирать и обрабатывать данные об учебной деятельности обучающихся, выявлять индивидуальные трудности и предпочтения, а также предлагать персонализированные маршруты освоения содержания, что существенно расширяет возможности педагога в реализации принципа индивидуализации [6].

Индивидуализация обучения в педагогике традиционно рассматривается как принцип и процесс, направленный на создание условий, при которых содержание, методы, средства и темп обучения соотносятся с индивидуальными особенностями учащихся, что позволяет обеспечить более высокую результативность усвоения знаний и формирование устойчивой мотивации к обучению, при этом важно подчеркнуть, что индивидуализация не означает отказ от общих образовательных целей и стандартов, а предполагает вариативность путей их достижения [7]. В трудах отечественных педагогов, включая Л.С. Выготского, индивидуальные различия в обучении рассматриваются через концепцию зоны ближайшего развития, согласно которой обучение становится эффективным тогда, когда оно организуется не на уровне уже сформированных знаний, а в зоне потенциального развития, где ученик способен продвигаться вперед при наличии поддержки, и в этом контексте индивидуализация означает необходимость подбора заданий и образовательных действий, соответствующих актуальным возможностям учащегося. В дальнейшем идеи индивидуального подхода получили развитие в исследованиях Б.Г. Ананьева, П.Я. Гальперина, В.В. Давыдова, где подчеркивалось, что эффективность обучения зависит от учета индивидуально-психологических характеристик, а также от организации деятельности, которая обеспечивает не пассивное усвоение, а активное построение знаний.

В современной педагогике индивидуализация тесно связана с понятиями дифференциации и персонализации, однако эти категории не являются тождественными, поскольку дифференциация чаще предполагает группирование обучающихся по определенным признакам и применение различных образовательных подходов для разных групп, тогда как индивидуализация ориентирована на учет особенностей конкретного обучающегося, а персонализация в цифровой среде включает использование данных и алгоритмов для автоматизированного построения образовательной траектории.

Таким образом, информационные технологии становятся тем инструментом, который способен переводить индивидуализацию из теоретического принципа в реальную педагогическую практику, поскольку они позволяют организовать вариативность обучения в условиях массового образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А.А. Педагогика высшей школы. – М.: МЭСИ, 2010.
2. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. – М.: Педагогика, 1989.
3. Блинов В.И., Сергеев И.С. Цифровая дидактика: учебное пособие. – М.: Просвещение, 2020.
4. Бороненко Т.А., Федотова В.С. Информационные технологии в образовании: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2019.
5. Гершунский Б.С. Философия образования для XXI века. – М.: Педагогическое общество России, 2002.
6. Гузеев В.В. Педагогическая техника в контексте современных образовательных технологий. – М.: Народное образование, 2001.

*Халиева Х.С., старший преподаватель
Исламов Д.М.*

*(Грозненский государственный нефтяной
технический университет имени академи-
ка М.Д. Миллионщикова)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕДАГОГИКЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ УЧАЩИХСЯ

Информационные технологии в педагогике рассматриваются как средство не только передачи знаний, но и организации учебной деятельности, направленной на активное включение учащихся в процесс познания. Согласно современной педагогической науке, мотивация учащихся формируется через взаимодействие с учебным содержанием, где значимую роль играют элементы самостоятельности, осознанного выбора и эмоционального отклика, что позволяет создавать условия для развития внутреннего интереса к учебе.

Ключевые слова: информационные технологии, педагогика, повышение мотивации, инфраструктура.

*Khalieva H.S.
Islamov D.M.*

THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN PEDAGOGY TO INCREASE STUDENT MOTIVATION

Information technologies in pedagogy are considered as a means not only of transferring knowledge, but also of organizing educational activities aimed at actively involving students in the learning process. According to modern pedagogical science, students' motivation is formed through interaction with educational content, where elements of independence, conscious choice and emotional response play a significant role, which allows creating conditions for the development of inner interest in learning.

Keywords: information technology, pedagogy, increasing motivation, infrastructure.

Стремительное развитие информационного общества, сопровождаемое постоянным расширением цифровой инфраструктуры и усложнением способов коммуникации, закономерно привело к тому, что современная система образования оказалась в ситуации необходимости глубокого переосмысления традиционных педагогических подходов, поскольку обучающийся XXI века формируется и социализируется в условиях непрерывного взаимодействия с электронными устройствами, мультимедийным контентом и высокодинамичными информационными потоками, которые существенно изменяют как характер познавательной деятельности, так и способы восприятия, обработки и усвоения учебного материала. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема повышения учебной мотивации учащихся, поскольку снижение интереса к обучению, формальное выполнение заданий и ориентация преимущественно на внешние стимулы, такие как оценка или контроль, становятся одной из наиболее распространённых трудностей современной педагогической практики, препятствующих достижению устойчивых образовательных результатов и полноценному личностному развитию школьников [1].

В отечественной психолого-педагогической традиции мотивация рассматривается как сложная и динамическая система внутренних побуждений, которая включает не только потребности и интересы, но и ценностные установки, эмоциональные переживания, ожидания успеха и личностный смысл учебной деятельности, вследствие чего она не может быть сведена к набору простых стимулов или формальных методов воздействия, а должна формироваться через организацию такой образовательной среды, в которой ученик выступает активным субъектом

познания, способным самостоятельно ставить цели, выбирать способы действия и осознавать значимость получаемых знаний. Так, Л.И. Божович подчёркивала, что мотивы учения формируются в процессе включённости ребёнка в социально значимую деятельность, где он получает возможность переживать успех, ощущать собственную компетентность и видеть перспективу личностного роста, а не просто выполнять учебные действия ради внешнего поощрения [2].

В свою очередь, А.К. Маркова отмечала, что устойчивость учебной мотивации напрямую зависит от того, насколько содержание и способы обучения позволяют учащемуся переживать познавательный интерес, ощущать самостоятельность и видеть смысл в образовательной деятельности, что особенно важно в школьном возрасте, когда учебная деятельность становится ведущей и оказывает определяющее влияние на развитие личности.

В условиях цифровизации образования информационные технологии всё чаще рассматриваются как потенциально эффективный ресурс повышения мотивации учащихся, поскольку они предоставляют возможности интерактивного взаимодействия с учебным материалом, визуализации сложных явлений, индивидуализации темпа и уровня сложности заданий, а также оперативной обратной связи, способной поддерживать познавательную активность и формировать устойчивое чувство компетентности. Однако при этом необходимо учитывать, что использование технологий не является самоценным и автоматически мотивационным, поскольку без методически грамотного проектирования образовательного процесса цифровые инструменты могут приводить к поверхностному усвоению знаний, снижению концентрации внимания и формированию потребительского отношения к обучению, что подчёркивается в работах исследователей, занимающихся проблемами информатизации образования и цифровой дидактики [4].

Следовательно, особое значение приобретает научно обоснованный анализ того, каким образом информационные технологии должны быть интегрированы в педагогическую практику, чтобы они действительно способствовали развитию внутренней мотивации, самостоятельности и устойчивого интереса к учебной деятельности.

Использование информационных технологий в педагогике открывает новые возможности для повышения мотивации учащихся. Цифровые инструменты и ресурсы делают образовательный процесс более интерактивным, разнообразным и персонализированным, что способствует активному вовлечению учеников. Применение таких технологий, как мультимедийные материалы, онлайн-платформы и адаптивные обучающие системы, помогает учитывать интересы и способности каждого учащегося, стимулируя желание к обучению и развитию. Таким образом, интеграция ИТ в образовательный процесс становится важным фактором повышения эффективности обучения и формирования устойчивой учебной мотивации. Для достижения максимальных результатов необходимо дальнейшее совершенствование педагогических подходов и технических средств в соответствии с быстро меняющимся цифровым ландшафтом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Божович Л.И.* Личность и её формирование в детском возрасте. – СПб.: Питер, 2010. – 400 с.
2. *Маркова А.К.* Формирование мотивации учения в школьном возрасте. – М.: Академия, 2011. – 304 с.
3. *Полат Е.С.* Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учебное пособие. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2018. – 272 с.
4. *Сластёнин В.А.* Педагогика: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2013. – 608 с.
5. *Хуторской А.В.* Современная дидактика: учебник для вузов. – М.: Юрайт, 2020. – 336 с.

*Халиева Х.С., старший преподаватель
Исламов Д.М.*

*(Грозненский государственный нефтяной
технический университет имени академика
М.Д. Миллиончиков)*

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

Современное образование развивается в условиях стремительной цифровизации, что требует трансформации традиционных методов обучения и внедрения новых подходов, способных обеспечить активное включение учащихся в учебный процесс, развитие их познавательной активности и внутренней мотивации. Информационные технологии выступают инструментом, позволяющим создавать интерактивные и индивидуализированные образовательные среды, обеспечивать наглядность сложных явлений, организовывать исследовательскую и проектную деятельность, а также предоставлять оперативную обратную связь, что способствует формированию устойчивого интереса к обучению и развитию ключевых компетенций учащихся.

Ключевые слова: *информационные технологии, педагогические методы, цифровые ресурсы, интерактивное обучение, мотивация, образовательные технологии.*

*Khalieva H.S.
Islamov D.M.*

THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN THE DEVELOPMENT OF PEDAGOGICAL TEACHING METHODS

Modern education is developing in the context of rapid digitalization, which requires the transformation of traditional teaching methods and the introduction of new approaches that can ensure the active inclusion of students in the educational process, the development of their cognitive activity and internal motivation. Information technology is a tool that allows creating interactive and individualized educational environments, providing visibility of complex phenomena, organizing research and project activities, as well as providing prompt feedback, which contributes to the formation of sustained interest in learning and the development of key competencies of students.

The purpose of the article is to analyze the role of information technologies in the development of pedagogical teaching methods, as well as to identify key areas of their influence on the transformation of forms, approaches and means of organizing the educational process.

Keywords: *information technology, pedagogical methods, digital resources, interactive learning, motivation, educational technologies.*

Современное образование находится на этапе интенсивной цифровизации, сопровождающейся широким внедрением информационных технологий, что не только меняет социальный и культурный контекст обучения, но и ставит перед педагогикой задачу радикального переосмысления традиционных методов обучения, которые на протяжении десятилетий строились преимущественно на репродуктивной модели передачи знаний и не всегда учитывали индивидуальные особенности, интересы и темпы освоения материала учащимися, а в условиях современной цифровой среды такой подход становится недостаточно эффективным, поскольку учащиеся XXI века формируются в условиях постоянного взаимодействия с мультимедийной информацией, интерактивными платформами и высокодинамичными образовательными ресурсами, что требует организации учебного процесса таким образом, чтобы он включал элементы самостоятельного исследования, проектной деятельности, анализа и интерпретации информации,

а также обеспечивал возможность получения своевременной обратной связи, способствующей формированию положительной учебной мотивации и ощущению собственной компетентности.

Информационные технологии в этом контексте рассматриваются как многофункциональный инструмент, который не ограничивается демонстрацией учебного материала, а создаёт новые педагогические возможности, позволяя интегрировать в образовательный процесс интерактивные модели, симуляции сложных процессов, мультимедийные визуализации и адаптивные образовательные платформы, обеспечивающие индивидуализацию обучения и вариативность форм учебной деятельности, что, в свою очередь, создаёт условия для активного включения учащихся в процесс познания, стимулирует их любознательность и способствует развитию ключевых компетенций, необходимых для успешной социальной и профессиональной адаптации в условиях современного информационного общества.

Эффективность внедрения информационных технологий в педагогическую практику определяется не столько наличием технических средств, сколько продуманной организацией учебной деятельности, основанной на сочетании традиционных и цифровых методов, обеспечении деятельности характера обучения, поддержании личностного смысла учебной работы и создании условий для переживания учащимися успеха, что усиливает внутреннюю мотивацию, формирует устойчивый интерес к предмету и развивает умение самостоятельно планировать действия, анализировать результаты и корректировать стратегию усвоения знаний, а это, в свою очередь, подчеркивает необходимость системного исследования роли информационных технологий в трансформации педагогических методов и выработке методических рекомендаций, направленных на повышение эффективности учебного процесса и качества образовательных результатов [5].

Анализ статистических данных, отражающих динамику внедрения информационных технологий в образовательный процесс, позволяет утверждать, что цифровая трансформация системы обучения носит не эпизодический, а устойчивый и системный характер, поскольку, по данным международных исследований в сфере образования, доля образовательных организаций, использующих цифровые платформы, электронные образовательные ресурсы и средства дистанционного взаимодействия, увеличивается ежегодно, что обусловлено не только техническим прогрессом, но и изменением социального запроса на гибкость и доступность образовательных услуг.

Согласно данным, представленным в аналитических материалах ЮНЕСКО, в период активного развития дистанционного обучения существенно увеличилось число обучающихся, вовлечённых в онлайн-форматы, при этом отмечается, что цифровые образовательные инструменты стали использоваться не исключительно в качестве временной меры, а как элемент долгосрочных стратегий модернизации образования, вследствие чего многие государства начали внедрять национальные платформы электронного обучения, а также инвестировать в развитие цифровых компетенций педагогов и учащихся [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Божович Л.И.* Личность и её формирование в детском возрасте. – СПб.: Питер, 2010. – 400 с.
2. *Маркова А.К.* Формирование мотивации учения в школьном возрасте. – М.: Академия, 2011. – 304 с.
3. *Полат Е.С.* Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учебное пособие. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2018. – 272 с.
4. *Селевко Г.К.* Современные образовательные технологии: учебное пособие. – М.: Народное образование, 2015. – 256 с.
5. *Зимняя И.А.* Педагогическая психология: учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2016. – 384 с.

Энергетика и электротехника

Электротехнические комплексы и системы

*Гуляев И.В., доктор технических наук,
профессор*

*Письмаров Г.Д., аспирант
(Национальный исследовательский
Мордовский государственный универси-
тет им. Н.П. Огарёва)*

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ЭМУЛЯТОРА ПАНЕЛИ АВТОМАТИКИ И СИГНАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ПЛАТФОРМЕ ANDROID

В статье представлены результаты разработки специализированного программно-аппаратного тренажёра-симулятора панели автоматики и сигнализации (ПАС) электроподвижного состава (ЭПС) для мобильных устройств на платформе Android. Приложение предназначено для профессиональной подготовки, обучения и аттестации персонала, обслуживающего ЭПС железнодорожного транспорта. Рассмотрены методологические основы построения системы, архитектура программного обеспечения, реализованная на языке Java с использованием объектно-ориентированного подхода, и алгоритмы динамической симуляции более 35 системных параметров в реальном времени. Особое внимание уделено модульной структуре обучения, включающей разделы: основная панель, механическая часть, электрическая часть и диагностика. Описана реализация библиотеки типовых аварийных сценариев, системы цветовой индикации состояний и формирования отчётов. Доказана эффективность применения мобильного эмулятора для отработки практических навыков диагностики и устранения неисправностей без риска для реального оборудования. Приведены результаты внедрения, свидетельствующие о стандартизации процесса подготовки, снижении эксплуатационных рисков и повышении уровня безопасности.

Ключевые слова: электроподвижной состав, эмулятор ПАС, мобильный тренажёр, Android, Java, имитационное моделирование, системы диагностики, подготовка кадров, железнодорожный транспорт.

**Gulyaev I.V.
Pismarov G.D.**

DEVELOPMENT OF A MOBILE EMULATOR FOR THE AUTOMATION AND SIGNALING PANEL OF ELECTRIC ROLLING STOCK ON THE ANDROID PLATFORM

The article presents the results of the development of a specialized software and hardware simulator of the automation and signaling panel (ASP) of electric rolling stock (ERS) for mobile devices on the Android platform. The application is designed for professional training, education and certification of personnel servicing railway ERS. The methodological foundations of the system construction, software architecture implemented in Java using an object-oriented approach, and algorithms for dynamic simulation of more than 35 system parameters in real time are considered. Particular attention is paid to the modular training structure, which includes sections: main panel, mechanical part, electrical part and diagnostics. The implementation of a library of typical emergency scenarios, a system of color status indication and report generation is described. The effectiveness of using a mobile simulator for practicing practical skills of diagnostics and troubleshooting without risk to real equipment has been proven. The results of implementation are presented, indicating the standardization of the training process, reduction of operational risks and increase in the level of safety.

Keywords: electric rolling stock, ASP simulator, mobile simulator, Android, Java, simulation modeling, diagnostic systems, personnel training, railway transport.

Введение

Современный электроподвижной состав (ЭПС) представляет собой сложный киберфизический комплекс, интеграция механических, электрических, пневматических и управляющих систем в котором требует от обслуживающего и управляющего персонала высочайшей квалификации [1]. Подготовка таких специалистов сопряжена со значительными трудностями: высокой стоимостью эксплуатации реального состава, рисками для оборудования и безопасности людей, невозможностью воспроизведения ряда аварийных ситуаций в учебных целях [2].

Традиционные стационарные тренажёрные комплексы, хотя и эффективны, зачастую обладают высокой стоимостью, недостаточной мобильностью и привязанностью к конкретным учебным центрам. В этих условиях разработка мобильных программных тренажёров, способных функционировать на общедоступных планшетных компьютерах, становится актуальной научно-практической задачей. Такие решения позволяют организовать подготовку непосредственно в условиях депо, в ходе теоретических занятий или для самостоятельной работы [3].

Целью данной работы являлась разработка полнофункционального мобильного эмулятора панели автоматики и сигнализации (ПАС) электроподвижного состава типа ЭПС-80 («Ласточка») для операционной системы Android. Основные задачи:

1. Спроектировать объектно-ориентированную модель систем и параметров ЭПС.
2. Реализовать ядро динамической симуляции, имитирующее штатное и аварийное поведение систем в реальном времени.
3. Разработать интуитивный графический интерфейс пользователя (GUI), адекватно отображающий состояние моделируемых систем с цветовой индикацией.
4. Создать библиотеку типовых аварийных учебных сценариев.
5. Обеспечить модульность системы для поэтапного обучения.

Методология и архитектура системы

Программный комплекс «EPSTrainerPro» разработан с использованием языка программирования Java и инструментария Android SDK. Выбор данной платформы обусловлен её распространённостью, открытостью, наличием мощных средств разработки пользовательских интерфейсов и широкой аппаратной совместимостью. Минимальная требуемая версия Android – 7.0 (API 24), что обеспечивает поддержку на большинстве современных планшетных устройств.

Архитектура приложения следует многоуровневой модели (рис. 1) и включает:

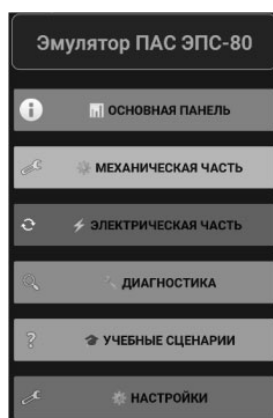


Рис. 1. Скриншот главного меню приложения с панелью навигации по модулям

1. Уровень данных (Models): Содержит бизнес-логику предметной области.

`Parameter` – инкапсулирует отдельный параметр системы (ток, напряжение, температура, давление) с атрибутами (имя, описание, единица измерения, нормальное/минимальное/максимальное значение, приоритет). Метод `updatePriority()` автоматически пересчитывает статус параметра (норма/предупреждение/авария) на основе его текущего значения и заданных границ.

`SystemNode` – представляет узел системы (подсистему, компонент) в виде древовидной структуры. Может содержать дочерние узлы и список параметров. Метод `getMaxPriority()` рекурсивно вычисляет максимальный приоритет аварии в рамках узла и всех его потомков.

`Alarm` – модель аварийного события с меткой времени, приоритетом, статусом подтверждения и ссылкой на параметр-источник.

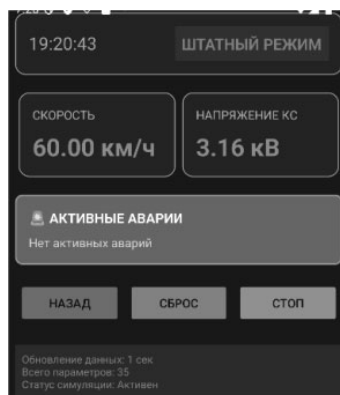


Рис. 2. Скриншот «Основной панели» с отображением системного статуса, скорости, напряжения и списка активных аварий

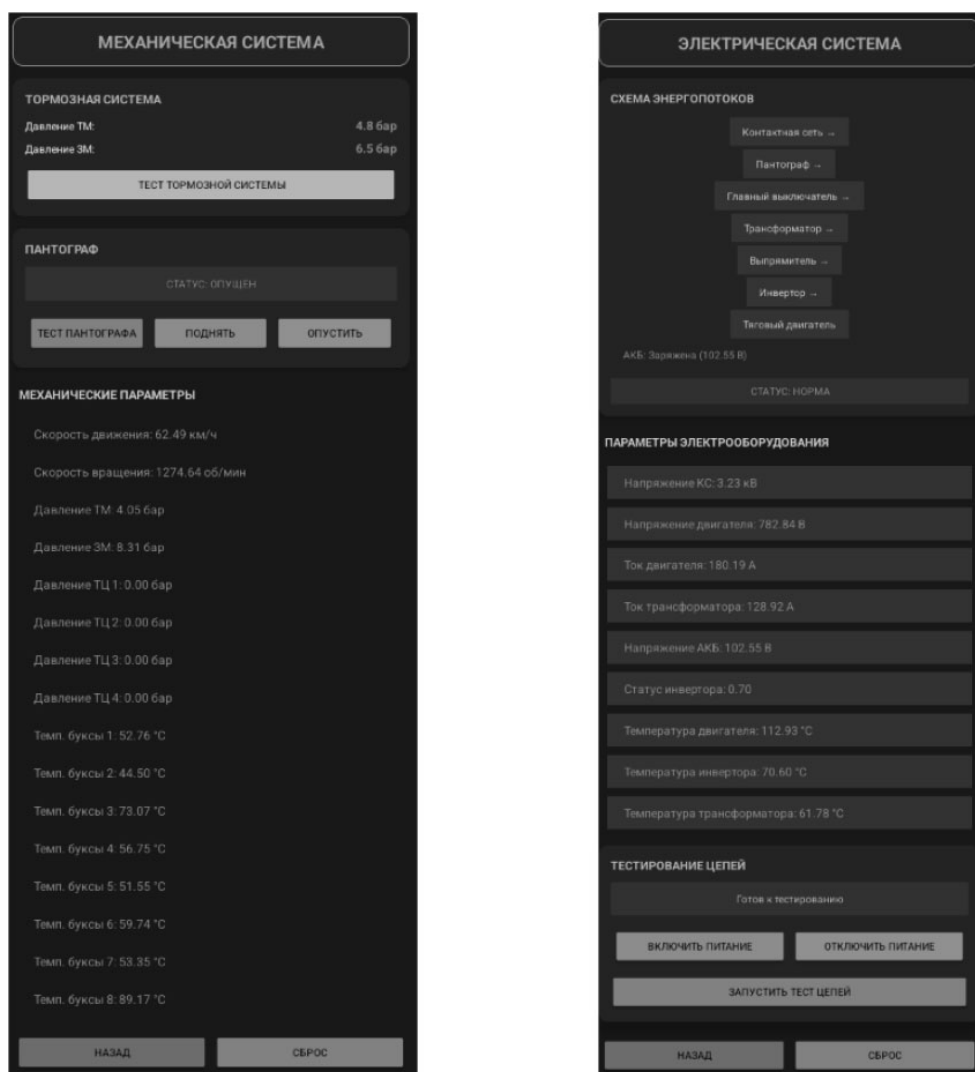


Рис. 3 Скриншоты модулей «Механическая часть» и «Электрическая часть»

2. Уровень бизнес-логики (Utils):

`DataSimulator` – центральный класс, реализующий паттерн «Одиночка» (Singleton).

Выполняет функции:

Инициализации иерархической модели систем ЭПС (`initializeSystems()`).

Запуска фонового потока для непрерывной псевдослучайной симуляции изменения параметров (`startSimulation()`).

Управления библиотекой аварийных сценариев (`triggerScenario()`), таких как «перегрев буксы», «отказ тормозов», «потеря напряжения».

Предоставления единой точки доступа к данным для всех компонентов UI.

3. Уровень представления (UI Layer): Состоит из активностей (Activity), соответствующих модулям обучения:

`MainActivity` – главное меню для навигации.

`MainPanelActivity` – сводная панель с ключевыми показателями (скорость, напряжение) и списком активных аварий.

`MechanicalActivity` – панель механических систем (тормоза, пантограф, температуры буксы).

`ElectricalActivity` – панель электрических систем с визуализацией потока энергии.

`DiagnosticsActivity` – модуль диагностики (заглушка для дальнейшего расширения).

Для обновления UI в реальном времени используется механизм `'Handler'` и `'Runnable'` с периодическим опросом состояния `'DataSimulator'`.

Реализация ключевых механизмов симуляции

1. Моделирование динамики параметров. В фоновом потоке класса `'DataSimulator'` каждые 2 секунды выполняется итерация по всем зарегистрированным параметрам. С вероятностью 30% значение каждого параметра изменяется на случайную величину в пределах $\pm 7.5\%$ от его нормального значения (`'newValue = param.getValue() + (random.nextDouble() - 0.5) 0.15 param.getNormalValue()'`). Полученное значение ограничивается логическими пределами. Такая модель создаёт правдоподобную «живую» картину работы систем.

2. Система приоритетов и цветовой индикации. Каждый `'Parameter'` самостоятельно вычисляет свой приоритет (0 – норма, 1 – предупреждение, 2 – авария) в методе `'updatePriority()'`. Алгоритм использует не только жёсткие границы `'minValue'/'maxValue'`, но и вводит зону допуска (10% от диапазона), за которой уже следует аварийный статус. Это имитирует hysteresis реальных систем. Цвет отображения (`'getColor()'`) жестко привязан к приоритету: зелёный, оранжевый, красный соответственно.

3. Реализация учебных сценариев. Метод `'triggerScenario(String scenario)'` модифицирует значения строго определённой группы параметров, приводя систему в заданное аварийное состояние. Например, сценарий `'"overheat_axle"'` устанавливает температуру 3-й и 4-й букс выше критического порога (105 °C и 98 °C), что немедленно отражается на интерфейсе в виде красной индикации и появления аварийной сигнализации.

4. Управление энергопотоком в электрическом модуле. В `'ElectricalActivity'` реализована упрощённая графическая схема прохождения энергии от контактной сети к тяговому двигателю. Статус каждого элемента схемы (подсветка цветом) динамически определяется на основе текущего значения напряжения в сети. При отключении питания (`'powerOff()'`) схема визуально «гаснет».

Результаты разработки и внедрения

В результате работы создано полностью функциональное Android-приложение «Эмулятор ПАС ЭПС-80». Программный продукт обладает следующими характеристиками:

Функциональная полнота: Симуляция >35 параметров, объединённых в 4 основные подсистемы (тяговая, пневматическая, управления, тепловизионного контроля).

Библиотека сценариев: 5 типовых аварийных ситуаций для отработки алгоритмов действий.

Производительность: Стабильная работа с частотой обновления UI 1 Гц на планшетах среднего класса.

Эргономика: Интерфейс адаптирован для сенсорного ввода, соответствует принципам ясности и информативной насыщенности.

Предварительное внедрение в учебный процесс одного из железнодорожных колледжей показало:

1. Стандартизацию подготовки: Все обучающиеся работают с идентичной виртуальной моделью ЭПС.

2. Снижение эксплуатационных рисков: Отработка навыков происходит в абсолютно безопасной среде.

3. Повышение мотивации: Использование знакомых мобильных устройств и игровой формы (сценарии) повышает вовлечённость учащихся.

4. Гибкость обучения: Тренажёр может использоваться как в аудитории, так и для самостоятельной подготовки.

Обсуждение и перспективы

Разработанный эмулятор успешно решает задачу базовой и аварийной подготовки персонала. Его ключевым преимуществом является мобильность и низкая стоимость развёртывания по сравнению со стационарными тренажёрами. Объектно-ориентированная архитектура делает систему расширяемой.

Направления дальнейшего развития:

1. Расширение модели: Добавление новых систем ЭПС (например, климат-контроль, системы пожаротушения) и типов составов.
2. Сетевой режим: Реализация многопользовательских сценариев, где инструктор удалённо задаёт неисправности, а обучаемый их обнаруживает и устраняет.
3. Интеграция с LMS: Экспорт отчётов и результатов отработки сценариев в системы управления обучением (Moodle, Canvas).
4. Внедрение элементов VR/AR: Использование камеры планшета для наложения виртуальной панели ПАС на реальные объекты в депо.

Заключение

В статье представлена комплексная разработка мобильного эмулятора ПАС электроподвижного состава, реализующая полноценную динамическую симуляцию работы ключевых систем в реальном времени. Доказана практическая значимость и эффективность подхода для профессиональной подготовки кадров железнодорожного транспорта. Использование платформы Android и модульной объектно-ориентированной архитектуры обеспечивает приложению доступность, масштабируемость и потенциал для дальнейшего развития. Внедрение подобных программных тренажёров способствует цифровой трансформации отрасли, повышению уровня безопасности и снижению затрат на обучение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронова Н.И., Разинкин Н.Е., Сарафанов Г.Б. Локомотивные устройства безопасности: учебник. – 3-е изд. – М.: Академия, 2013. – 208 с. (Описание систем типа КЛУБ, САУТ).
2. Бервинов В.И., Доронин Е.Ю. Локомотивные устройства безопасности: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 156 с.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата. – 7-е изд. – М.: Юрайт, 2021. – 343 с.
4. Боев В.Д., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование: учебное пособие. – 4-е изд. – М.: ИНТУИТ, 2025. – 517 с.
5. ГОСТ Р 55056-2012. Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2012.
6. Блинов И.Н., Романчик В.С. Java. Методы программирования. – Минск: Четыре четверти, 2016. – 898 с.

*Гуляев И.В., доктор технических наук,
профессор*

Письмаров Г.Д., аспирант

Бусаров А.А., аспирант

*(Национальный исследовательский
Мордовский государственный универси-
тет им. Н.П. Огарёва)*

АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье проводится обзор аппаратной части современных противоаварийных систем, применяемых на электроподвижном составе (локомотивах, моторвагонных поездах). Подробно рассмотрены архитектура, ключевые компоненты бортового и путевого оборудования, а также принципы их взаимодействия в рамках таких систем, как автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС), система автоматического управления торможением (САУТ) и комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ). Особое внимание уделено эволюции аппаратной платформы от релейных и дискретных схем к интегральным микропроцессорным комплексам. Анализируются современные тенденции цифровизации и использования спутниковых технологий, определяющие дальнейшее развитие железнодорожной безопасности.

Ключевые слова: *противоаварийная система, электроподвижной состав, аппаратная часть, АЛС, САУТ, КЛУБ, безопасность движения.*

Gulyaev I.V.

Pismarov G.D.

Busarov A.A.

HARDWARE COMPONENT OF THE EMERGENCY PROTECTION SYSTEM FOR ELECTRIC ROLLING STOCK

The article provides an overview of the hardware of modern emergency protection systems used on electric rolling stock (locomotives, multiple unit trains). The architecture, key components of onboard and track equipment, as well as the principles of their interaction within systems such as automatic locomotive signaling (ALS), automatic train braking control system (SATBS), and integrated locomotive safety device (ILSD) are considered in detail. Special attention is paid to the evolution of the hardware platform from relay and discrete circuits to integrated microprocessor complexes. Current trends in digitalization and the use of satellite technologies that determine the further development of railway safety are analyzed.

Keywords: *emergency protection system, electric rolling stock, hardware, ALS, SATBS, ILSD, traffic safety.*

Введение

Безопасность движения поездов является абсолютным приоритетом на железнодорожном транспорте. Её фундамент составляют противоаварийные системы, предназначенные для автоматического предотвращения опасных ситуаций путём непрерывного контроля параметров движения и состояния машиниста с последующим автоматическим вмешательством в управление. Эффективность таких систем в решающей степени определяется надёжностью и совершенством их аппаратной части – физической платформы, включающей датчики, вычислительные модули, устройства отображения информации и исполнительные механизмы.

Эволюция аппаратной базы прошла путь от простых механических автостопов и релейных схем АЛС до высокоинтегрированных микропроцессорных комплексов, таких как КЛУБ,

объединяющих функции нескольких систем. Современный этап характеризуется активной цифровизацией, использованием спутниковой навигации и беспроводных каналов связи. Цель данного обзора – систематизировать сведения об архитектуре, ключевых компонентах и принципах построения аппаратной части современных противоаварийных систем электроподвижного состава, а также проанализировать актуальные тенденции её развития.

1. Архитектура и ключевые компоненты аппаратной платформы

Аппаратная часть противоаварийной системы представляет собой распределённый комплекс, включающий оборудование как на подвижном составе (бортовое), так и на железнодорожном пути (путевое). Их взаимодействие строится по принципу непрерывного или точечного обмена данными.

1.1. Бортовое оборудование выполняет функции сбора данных, их обработки, информирования машиниста и исполнения управляющих команд. Его можно классифицировать по функциональному назначению:

Датчики и измерительные устройства: Первичные источники информации. К ним относятся датчики пути и скорости (ДПС), устанавливаемые на колёсных парах; приёмные катушки АЛС для съёма сигналов с рельсов; датчики давления в тормозной магистрали; антенны спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS) и радиоканала.

Блоки обработки и управления: «Мозг» системы. В современных комплексах это микропроцессорные модули, выполняющие функции дешифратора сигналов АЛС, вычислителя допустимой скорости (САУТ), центрального процессора (КЛУБ-У). Исторически эти функции выполнялись отдельными релейными и электронными блоками (усилители, дешифраторы, фильтры АЛС).

Устройства индикации и оповещения: Интерфейс взаимодействия с машинистом. Включают локомотивный светофор, дисплеи, звуковые сигналы, а также устройства контроля бдительности (рукоятка бдительности, педаль).

Исполнительные механизмы: Обеспечивают физическое воздействие на систему управления локомотивом. Ключевым устройством является электропневматический клапан, который по команде от системы разряжает тормозную магистраль, инициируя экстренное или служебное торможение. Также к исполнительным механизмам относятся цепи отключения тяги.

1.2. Путевое оборудование формирует информационную среду для движения поездов. К нему относятся:

Устройства передачи данных: Путевые трансмиттеры и рельсовые цепи для передачи кодовых сигналов АЛС; точечные устройства САУТ (шлейфы, передатчики) для передачи данных о блок-участках; напольные светофоры.

Механические активаторы: Используются в системах точечного автостопа (путевые скобы), которые механически воздействуют на локомотивную рамку при запрещающем сигнале.

1.3. Интерфейсы и связи. Взаимодействие между компонентами в ранних системах осуществлялось через аналоговые сигнальные цепи и дискретные релейные контакты. Современные комплексы базируются на цифровых последовательных интерфейсах (RS-485, CAN), что позволяет создавать единую информационную шину на локомотиве и обеспечивает гибкость при интеграции новых модулей.

2. Аппаратная реализация основных противоаварийных систем

2.1. Автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС). АЛС является базовой системой, обеспечивающей передачу показаний путевых светофоров в кабину локомотива. Аппаратная часть АЛС непрерывного типа (АЛСН) детально регламентирована нормативными документами. Согласно Инструкции ЦТ-ЦШ-857, в состав локомотивных устройств АЛСН входят: усилитель, дешифратор, фильтр, приемные катушки и локомотивный светофор. Эти устройства дополняются блоками контроля бдительности (УКБМ) и скорости. Аппаратура построена

на принципах аналоговой и дискретной схемотехники, её функционирование и обслуживание строго регламентировано. Принципы работы и классификация таких систем, а также их путевых устройств, были фундаментально изложены ещё в классических трудах по железнодорожной автоматике.

2.2. Система автоматического управления торможением (САУТ). САУТ представляет собой более интеллектуальную систему, которая на основе данных о профиле пути, допустимых скоростях и показаниях светофоров автоматически ограничивает скорость движения. Аппаратная платформа САУТ эволюционировала от специализированных вычислительных блоков на базе микропроцессоров (например, Intel 8085) до интеграции в состав универсальных комплексов. Ключевыми аппаратными компонентами остаются датчики скорости (ДПС), блоки обработки (БЭ-САУТ) и интерфейсы связи с АЛС и тормозной системой. Архитектура и принципы построения таких систем управления движением подробно рассматриваются в учебной литературе.

2.3. Комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ). КЛУБ является вершиной эволюции аппаратной платформы, представляя собой унифицированный микропроцессорный комплекс, который заменяет или объединяет функции АЛС, скоростемера, САУТ и систем регистрации. Его аппаратная часть включает мощные вычислительные модули, приёмники ГЛОНАСС/GPS, унифицированные блоки сопряжения с датчиками и шины передачи данных. Это позволяет реализовать принцип координатного регулирования движения с использованием электронной карты пути, что снижает зависимость от путевой инфраструктуры. Таким образом, КЛУБ-У является не просто суммой устройств, а качественно новой интегрированной аппаратно-программной платформой безопасности.

3. Принципы работы и взаимодействия компонентов

Работа противоаварийной системы реализуется по замкнутому алгоритму «контроль – анализ – воздействие».

1. Сбор данных: Датчики (ДПС, приёмные катушки, GPS-приёмник) в реальном времени измеряют скорость, координаты поезда и принимают внешние сигналы.

2. Анализ и принятие решения: Вычислительный блок (в САУТ или КЛУБ) сравнивает текущие параметры с допустимой моделью движения, которая строится на основе сигналов АЛС, электронной карты и плана задания.

3. Воздействие и информирование: При обнаружении нарушения сначала активируются предупредительные сигналы (световые, звуковые). Если машинист не предпринимает действий, система через исполнительные механизмы (ЭПК) автоматически инициирует торможение вплоть до экстренной остановки.

Все системы – АЛС, САУТ, автостоп – в современном исполнении тесно интегрированы на аппаратном уровне через общие шины данных, а КЛУБ выступает как их логическое и физическое объединение.

4. Современные тенденции и перспективы развития

Полная цифровизация и интеграция. Происходит переход от разрозненных аналоговых и цифровых систем к единым аппаратно-программным комплексам с общей операционной средой и стандартизированными протоколами обмена данными.

Доминирование спутниковых технологий. Точное координатно-временное обеспечение от ГЛОНАСС/GPS становится основой для реализации независимых от рельсовых цепей систем контроля и управления движением (координатное регулирование).

Развитие беспроводных каналов связи. Внедрение технологий GSM-R и перспективных радиоканалов (например, в системах АЛСР) для передачи сигналов, телеметрии и диспетчерских команд, что открывает путь к системам «поезд–земля» следующего поколения.

Повышение интеллектуальности и надёжности. Внедрение встроенных систем диагностики и прогнозирования остаточного ресурса аппаратных компонентов, что переводит техническое обслуживание на принципы реального состояния (Predictive Maintenance).

Заключение

Аппаратная часть противоаварийной системы электроподвижного состава представляет собой сложный, многоуровневый комплекс, непрерывно эволюционирующий под влиянием технологического прогресса. От механических автоостопов и релейных блоков АЛС произошёл переход к высокоинтегрированным микропроцессорным комплексам, таким как КЛУБ, которые объединяют функции контроля, управления и регистрации. Ключевыми векторами развития являются полная цифровизация, активное использование спутниковой навигации и беспроводных коммуникаций, что ведёт к созданию интеллектуальных, гибких и менее зависимых от путевой инфраструктуры систем безопасности. Дальнейшая интеграция аппаратных платформ в единое цифровое пространство железной дороги («Цифровая железная дорога») станет закономерным этапом, обеспечивающим принципиально новый уровень безопасности и эффективности перевозочного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по техническому обслуживанию автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН) и устройств контроля бдительности машиниста № ЦТ-ЦШ-857. – Утв. МПС РФ 24.09.2001. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://rcit.su/techinfo99.html>.
2. *Меерсон С.И.* Автоматическая локомотивная сигнализация и автоостопы. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – 132 с.
3. *Сапожников В.В.* Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте: учебное пособие. – М.: УМЦ ЖДТ, 2011. – 288 с. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://e.lanbook.com/book/4187>.
4. *Сороко В.И., Милюков В.А.* Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: НПФ «Планета», 2020. – (Серия в 5 кн.).
5. *Лисенков В.М., Бестемьянов П.Ф., Леушин В.Б.* Системы управления движением поездов на перегонах. Часть 2. Принципы, методы и способы реализации систем управления: учебник. – М.: УМЦ ЖДТ, 2009. – 324 с. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://e.lanbook.com/book/60021>.

Электротехнология и электрофизика

Графский Д.Р.

Буняева Е.В., кандидат технических наук,
доцент

Графский О.А., доктор технических наук,
профессор

Пономарчук Ю.В., кандидат физико-
математических наук

Фалеева Е.В., кандидат технических
наук, доцент

(Дальневосточный государственный уни-
верситет путей сообщения)

КОНСТРУКТИВНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Статья является продолжением работы [1], в которой проведён анализ исследований износостойких ионно-плазменных покрытий [2, 3]. Исследования предусматривают выполнение аналитического и конструктивного моделирования силовых линий, обеспечивающих равную толщину покрытия рабочей поверхности. Теоретической основой конструктивного подхода являются основные положения проективной геометрии. Аналитические решения выполнены с применением математического пакета программирования Maple. Полученные результаты исследования наглядны, являются неотъемлемой частью изучения распределения силовых линий при ионно-плазменном покрытии изделий и могут быть использованы при изучении других электрофизических технологий.

Ключевые слова: силовые линии, конструирование семейств алгебраических кривых, проективная модель, равномерная толщина покрытия режущего инструмента.

Grafsky D.R.

Bunyaeva E.V.

Grafsky O.A.

Ponomarchuk Yu.V.

Faleeva E.V.

DESIGN AND ANALYTICAL STUDIES OF WEAR-RESISTANT ION-PLASMA COATINGS

This article is a continuation of the work [1], which analyzed the research of wear-resistant ion-plasma coatings [2, 3]. The research involves the implementation of analytical and constructive modeling of the lines of force, ensuring a uniform coating thickness of the working surface. The theoretical basis of the constructive approach is the fundamental principles of projective geometry. Analytical solutions were performed using the Maple mathematical programming package. The obtained research results are clear and are an integral part of the study of the distribution of lines of force during ion-plasma coating of products and can be used in the study of other electrophysical technologies.

Keywords: lines of force, construction of families of algebraic curves, projective model, uniform thickness of the cutting tool coating.

В соответствии с рис. 1 [1], кривая, проходящая через точку А, является улиткой Паскаля (рис. 1).

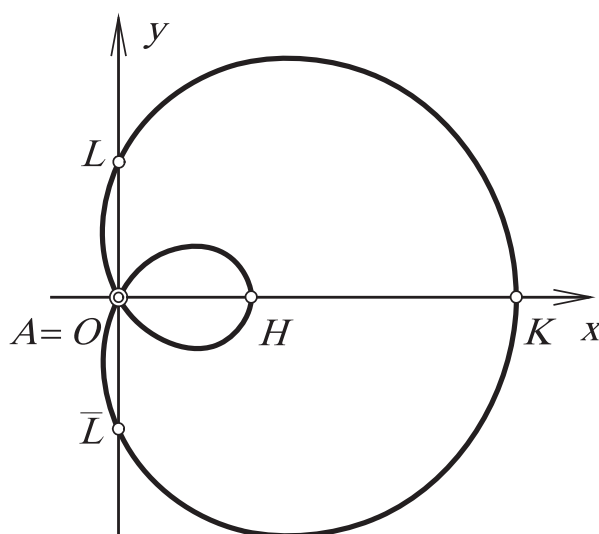


Рис. 1. Улитка Паскаля

Если в квадратичном поле $\pi_q(O\tilde{x}\tilde{y})$ [4] построить образ этой кривой, то обнаруживаем, что линии из первого квадранта $I\pi_q$ переходят в квадрант $IV\pi_q$ (рис. 2).

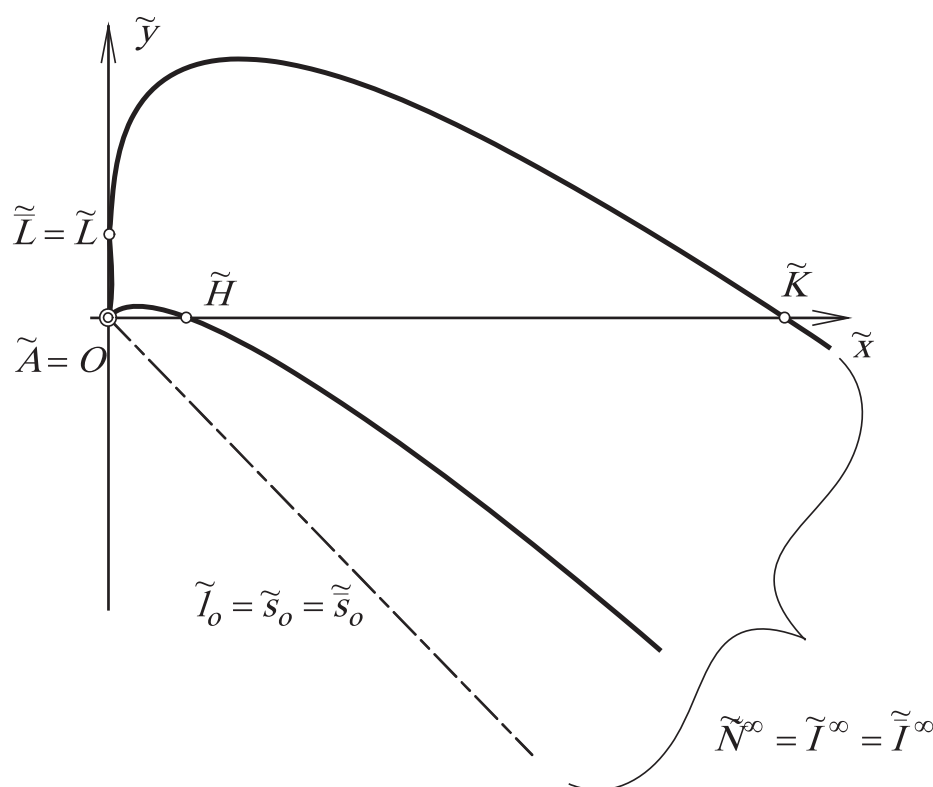


Рис. 2. Образ улитки Паскаля на квадратичном поле

Эти кривые и биссектриса $\tilde{s}_o$ квадранта $IV\pi_q$ имеют на несобственной прямой общую точку $\tilde{C}^\infty$, которая является образом циклических точек I^∞ и $\bar{I}^\infty$. Если воспроизвести ветви, инцидентные квадранту $IV\pi_q$ на поле $\pi_{r_i}Ox_{r_i}y_{r_i}$, то получим две ветви гиперболического вида, инцидентные соответственно точкам H и K . Эта совокупность линий вместе с двойной изолированной точкой A ($A = 0$) имеет четвертый порядок (рис. 3).

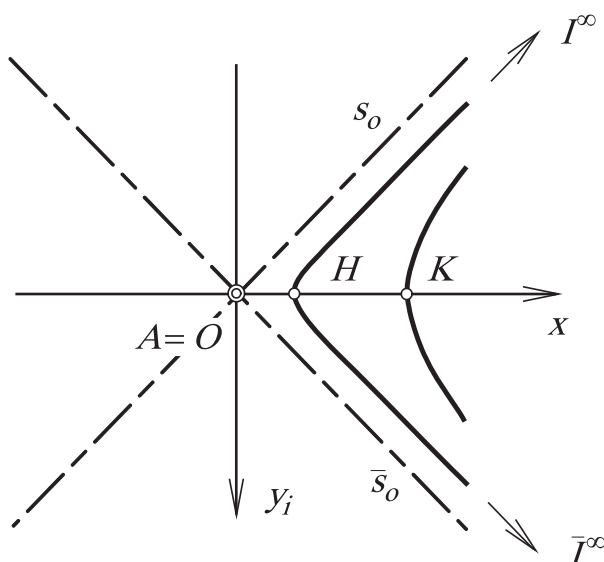


Рис. 3. Улитка Паскаля в поле $\pi_{\pi}(Oxy_i)$

По такому чертежу легко представить прохождение полученных ветвей через циклические точки l^{∞} и $\bar{l}^{\infty}$, инцидентные несобственной прямой l^{∞} .

В отличие от мнимых ветвей, например, такой бирациональной кривой, как лемниската Бернулли, ветви улитки Паскаля не переходят за несобственную прямую линию l^{∞} , так как на рис. 3 левее оси ординат линии отсутствуют (проверка осуществлялась с использованием программного пакета Maple).

Исследуя уравнение, полученное в работе [3] для пучка силовых линий, приходим к следующим выводам.

Во-первых, это полная согласованность с рекомендациями Н.П. Аникеевой: «...в качестве реальных силовых линий, по которым перемещаются частицы распыленного материала анода (теоретическая кривая представлена рис. 4), следует рассматривать лишь внутренние ветви теоретических силовых линий» [3, с. 106]. Такой вывод можно сделать на основании компьютерной реализации (рис. 5).

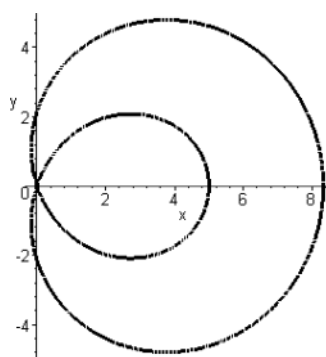


Рис. 4. Компьютерная реализация теоретических силовых линий в поле $\pi_{\pi}(Oxy)$

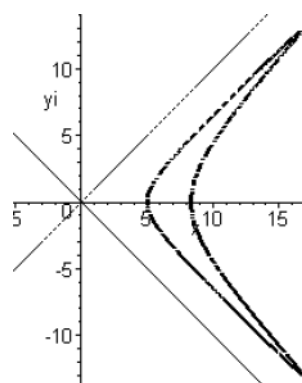


Рис. 5. Компьютерная реализация теоретических силовых линий в поле $\pi_{\pi}(Oxy_i)$

На рис. 5 отчетливо видно, что мнимые ветви пересеклись в собственных двойных точках. Тогда это приводит к нарушению «бициркулярности» – ветви не имеют в качестве двойных циклических точек l^{∞} и $\bar{l}^{\infty}$, что можно сравнить по рис. 3.

Во-вторых, необходимо строго придерживаться рассчитываемых параметров, входящих в уравнение теоретических силовых линий. Так как визуально по действительным линиям трудно судить о соответствии реальных линий с теоретическими линиями. Для примера рассмотрена улитка Паскаля (на рис. 6 в поле π_r , а на рис. 7 в поле π_{ri}) по сравнению с теоретической кривой силовых линий (на рис. 8 в поле π_r , а на рис. 9 в поле π_{ri}).

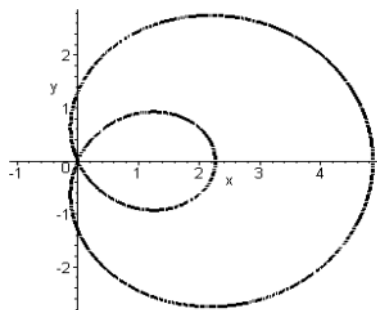


Рис. 6. Компьютерная реализация улитки Паскаля в поле $\pi_r(Oxy)$

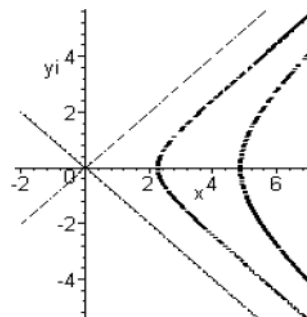


Рис. 7. Компьютерная реализация улитки Паскаля в поле $\pi_{ri}(Oxy)$

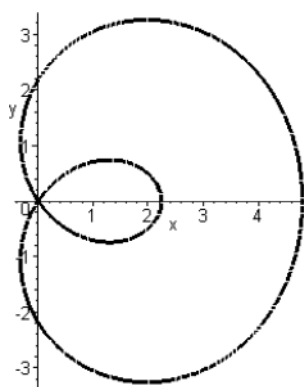


Рис. 8. Компьютерная реализация теоретических силовых линий в поле $\pi_r(Oxy)$

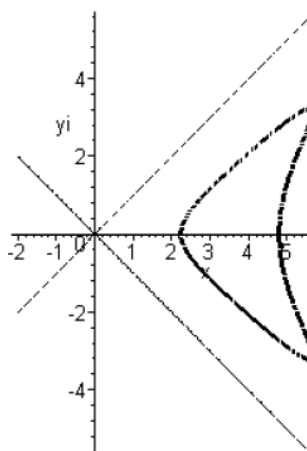


Рис. 9. Компьютерная реализация теоретических силовых линий в поле $\pi_{ri}(Oxy)$

Для анализа рассматриваемых кривых линий их параметры подобраны таким образом, чтобы внутренняя ветвь пересекала ось абсцисс с одинаковым значением координаты.

Так как улитка Паскаля есть бициркулярная кривая, то, рассматривая ее параметры, отличные от нуля, еще раз убеждаемся в этом факте (рис. 7). Предложенная в работе [3] теоретическая кривая (и только ее внутренняя ветвь) при определенном сочетании параметров не может быть принята за образ силовых линий, так как она уже не является циркулярной: биссектрисы координатных углов не имеют с ней общих точек на несобственной прямой (рис. 9). Поэтому очень важно строго придерживаться параметров кривой, значения которых должны определяться в соответствии с методикой, разработанной Н.П. Аникеевой [3].

Как отмечено выше, покрытие равной толщины будет обеспечено при равномерной плотности распределения на поверхности изделия силовых линий. Геометрией этих линий можно управлять посредством введения в камеру установки дополнительных электродов, так называемых «масок» [2]. Как показали результаты исследований Н.П. Аникеевой [3], при введении

«масок» порядок силовых линий увеличивается: одна «маска» – шестой порядок, две «маски» – восьмой. Рассмотрим более сложный случай, когда в камеру установки вводятся две «маски» (картина электрического поля представлена на рис. 10 из работы [3]).

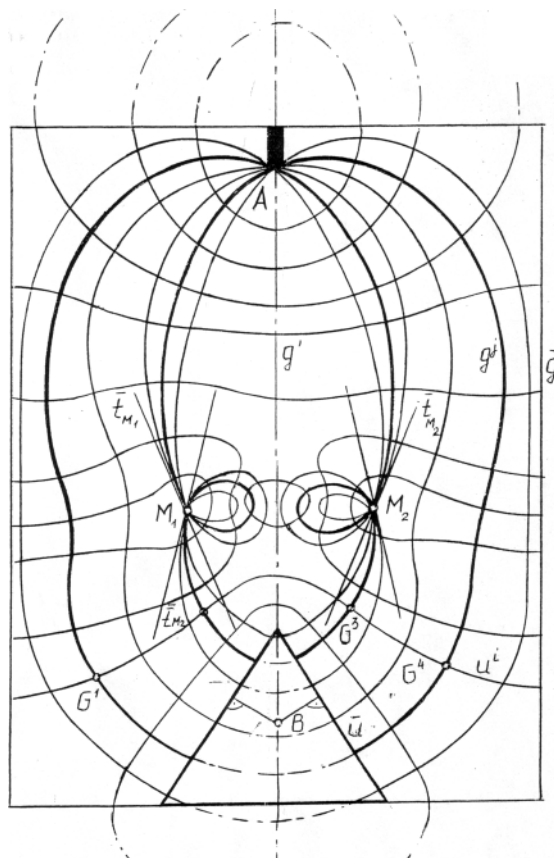


Рис. 10. Картина электрического поля с двумя «масками»

На основании рис. 10 представим возможность моделирования одной кривой g^j (она показана более толстой линией) в мнимой области, т.е. на поле π_{ri} (рис. 11).

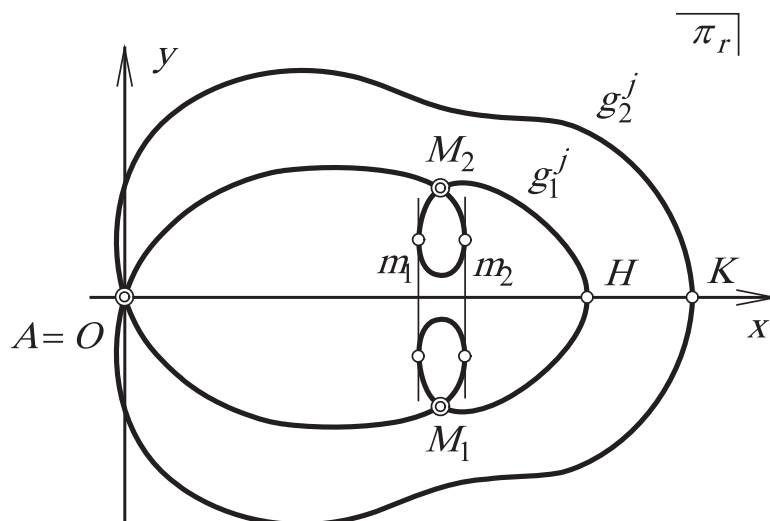


Рис. 11. Конструирование силовых линий в поле π_{ri}

Тогда прохождение всех мнимых ветвей через циклические точки I^∞ и $\bar{I}^\infty$ можно показать на рис. 12.

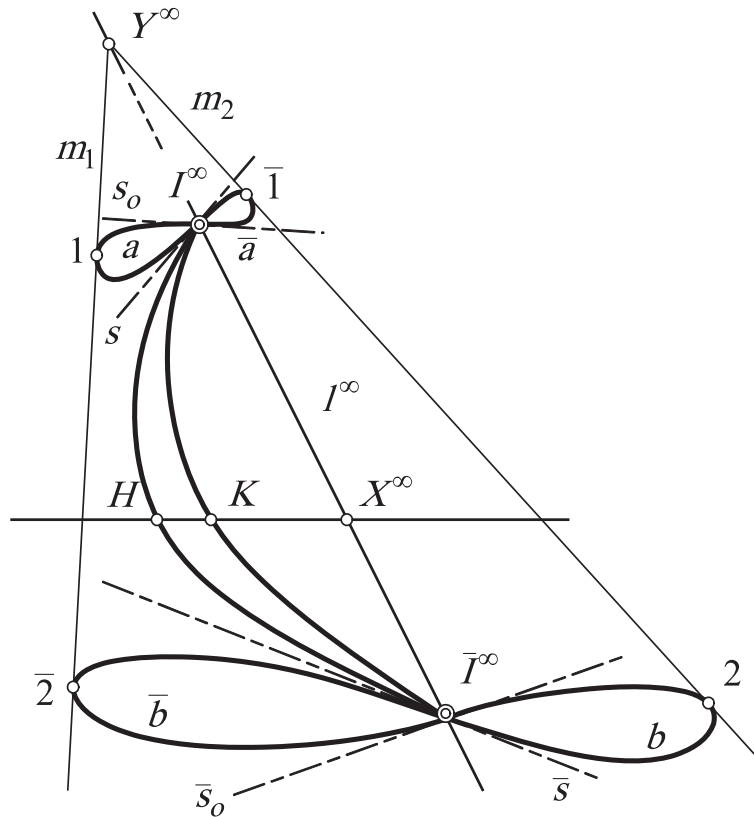


Рис. 12. Прохождение мнимых ветвей через циклические точки

В соответствии с рис. 11 прямая линия (секущая), параллельная оси ординат, в пределах контура действительной кривой пересечет ее в восьми точках. Прежде всего, это действительные точки, которые будут получены, если прямая будет находиться в пределах касательных m_1 и m_2 . Если секущую провести, например, через точку, расположенную между точками H и K , то она пересечет кривую в двух действительных точках; далее мнимое продолжение этой секущей пересечет мнимые продолжения кривой (мнимые ветви) на поле π_{ri} еще в шести, но мнимых точках, которые можно проследить по рис. 12.

Если провести несобственную прямую I^∞ , то все мнимые ветви пройдут через пару циклических точек I^∞ и $\bar{I}^\infty$. Каждую из этих точек следует считать мнимой четырехкратной. Поэтому рассматриваемая кривая восьмого порядка является четырежды циркулярной.

Эти ветви следует рассматривать как мнимые продолжения действительных ветвей, к которым проведены касательные m_1 и m_2 .

Рассматривая пару таких кривых пучка силовых линий g^i и g^{i+1} , отметим, что они должны пересекаться в $n^i \times n^{i+1} = 8 \times 8 = 64$ точках. Из них по 20 простых пересечений приходится на каждую циклическую точку (всего 40), по 10 пересечений – соответственно на точки M_1 и M_2 (всего 20), на точку A – 4 пересечения. Если на рис. 10 через точки M_1 и M_2 проходят по две фиксированные действительные касательные $\bar{t}_{M_1}$, $\bar{t}_{M_1}$ и $\bar{t}_{M_2}$, $\bar{t}_{M_2}$, то через циклические точки I^∞ и $\bar{I}^\infty$ – по две фиксированные мнимые изотропные прямые s_o , s и $\bar{s}_o$, $\bar{s}$, которые являются асимптотами мнимых ветвей. На рис. 12 даны обозначения только этих четырех асимптот, поскольку те асимптоты, которые проходят через определенную циклическую точку попарно, являются проективным продолжением друг друга.

Представленные модели наглядны, являются неотъемлемой частью изучения распределения силовых линий при ионно-плазменном покрытии изделий и могут быть использованы при изучении других электрофизических технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Графский Д.Р.* Анализ исследований износостойких ионно-плазменных покрытий / Д.Р. Графский, Е.В. Буняева, О.А. Графский, В.Ю. Ельцова, И.П. Лебединская // Естественные и технические науки. 2026, № 7 (218). – С. 37–40.
2. *Кострюков А.В.* Геометрическое моделирование процесса формирования поверхностей при осаждении тонкопленочных покрытий: Дис. ... канд. техн. наук / А.В. Кострюков. – М., 1992. – 191 с.
3. *Аникеева Н.П.* Геометрическое моделирование картины электрического поля в камере осаждения износостойких покрытий: Дис. ... канд. техн. наук / Н.П. Аникеева. – М., 1998. – 127 с.
4. *Графский О.А.* Геометрия электростатических полей / О.А. Графский, Ю.В. Пономарчук, А.А. Холодилов // Геометрия и графика. 2018. Т. 6. № 1. – С. 10–19.

Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники

Голованов И.Ю., кандидат технических наук, доцент

(Московский политехнический университет; МИРЭА – Российский технологический университет)

Ермолаев А.Е., кандидат технических наук, доцент

Махотин И.Д., аспирант
(Московский политехнический университет)

Некрасов Д.А., кандидат технических наук, доцент

(МИРЭА – Российский технологический университет)

ОЦЕНКА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Сопоставлены теплообменники «труба в трубе» с наклоном патрубков межтрубного пространства 30° и 60° для охлаждения вычислительной техники диэлектрической жидкостью. Для них представлены расчётные зависимости и показатели эффективности. В исследованном диапазоне конструкции с углом 60° обеспечивает лучшие показатели энергосбережения и компактности.

Ключевые слова: охлаждение, вычислительная техника, диэлектрическая жидкость, теплообменник «труба в трубе», энергосбережение, компактность.

Golovanov I. Yu.

Ermolaev A. E.

Makhotin I. D.

Nekrasov D. A.

ASSESSMENT OF ENERGY SAVING IN ELECTRONICS COOLING WITH A DIELECTRIC FLUID

Heat exchangers of the “tube-in-tube” type with a 30° and 60° inclination of the intertube space nozzles for cooling computing equipment with dielectric fluid are compared. Design dependencies and efficiency indicators are presented for them. Within the studied range, the design with a 60° angle provides better energy-saving and compactness performance.

Keywords: cooling; computer technology, dielectric fluid, tube-in-tube heat exchanger, energy saving, compactness.

Введение

Теплообменники «труба в трубе» представляют практический интерес для охлаждения вычислительной техники в диэлектрических жидкостях благодаря простоте, надёжности и возможности работы при различных тепловых нагрузках. Они позволяют отводить теплоту от нагретого диэлектрика к охлаждающей воде. При выборе конструкции необходимо учитывать

ее тепловую мощность и габариты, а также затраты мощности на перекачивание теплоносителей.

Проанализируем влияние угла наклона патрубков межтрубного пространства теплообменника «труба в трубе» на энергосбережение и компактность при охлаждении вычислительной техники. Рассмотрим конструкции с углами 30° и 60° к оси аппарата.

Материалы и методы

На экспериментальной установке (рис. 1) вычислительная техника погружена в диэлектрическую жидкость «Термолан Е1» [1]. Нагретый диэлектрик поступает в трубное пространство теплообменника и передает теплоту воде. Установка устойчиво работала при разных вычислительных нагрузках.

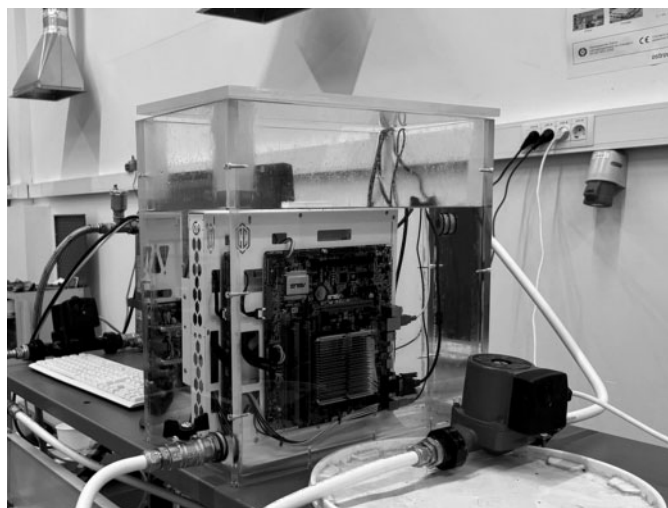


Рис. 1. Натурная установка с диэлектрической жидкостью

Эффективность процесса охлаждения оценивали по основному уравнению теплопередачи и удельному показателю энергосбережения [2]:

$$\Delta E = \frac{Q}{E}, \quad (1)$$

где ΔE – удельные потери мощности при эксплуатации теплообменного аппарата, Вт/Вт; Q – тепловая мощность, Вт; E – потери мощности на перекачивание теплоносителей при эксплуатации теплообменного аппарата, Вт.

В теплообменном аппарате типа «труба в трубе» потери мощности E определяются как [2]:

$$E = V_1 \cdot \Delta P_1 + V_2 \cdot \Delta P_2, \quad (2)$$

где V_1 – объемный расход первого теплоносителя, м³/с; ΔP_1 – гидравлическое сопротивление при перекачивании первого теплоносителя, Па; V_2 – объемный расход второго теплоносителя, м³/с; ΔP_2 – гидравлическое сопротивление при перекачивании второго теплоносителя, Па.

Для жидкостной системы охлаждения вычислительной техники важным показателем также будет являться компактность аппарата, которая выражается через отношение тепловой мощности к объему его конструкции [2]:

$$\Delta O = \frac{Q}{O}, \quad (3)$$

где ΔO – компактность конструкции теплообменного аппарата, Вт/м³; O – объем теплообменного аппарата, м³.

Теплоотдача межтрубного пространства лимитирует интенсивность теплопередачи в рассматриваемом аппарате [2]. Поэтому расход воды изменяли при постоянном расходе диэлектрика.

Основные размеры [3]: кожух $\varnothing 57 \times 4$ мм длиной 1400 мм; внутренняя труба $\varnothing 25 \times 3$ мм длиной 1500 мм, охлаждаемая часть – 1400 мм; патрубки $\varnothing 50 \times 4$ мм длиной 155 мм. Материал – сталь 08Х18Н10Т: теплоёмкость 504 Дж/(кг·К), теплопроводность 17 Вт/(м·К).

В трубное пространство подавали «Термолан Е1» при 333 К с расходом 0,001 м³/с ($Re = 10000$); в межтрубное – воду при 293 К с расходом 0,0006–0,0014 м³/с и шагом 0,0001 м³/с ($10000 < Re < 24000$). Сравнение выполнено при одинаковых исходных условиях, изменялся только угол наклона патрубков. Выбор рациональной геометрии конструкции является одним из направлений совершенствования двухтрубных теплообменников [4].

Основные результаты и выводы

По результатам исследования получены зависимости расчета числа Нуссельта для межтрубного пространства с отклонением менее 3% от результатов компьютерного моделирования в исследованном диапазоне $10000 < Re < 24000$. Для угла 30°:

$$Nu = 2,96 \cdot 10^{-4} Re^{1,27} Pr^{0,4} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}, \quad (5)$$

где Nu , Re , Pr – числа Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля, соответственно; $Pr_{ст}$ – число Прандтля при температуре стенки.

Для угла 60°:

$$Nu = 5,25 \cdot 10^{-4} Re^{1,2} Pr^{0,4} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (6)$$

Сопоставление показателей ΔE и ΔO приведено на рис. 2.

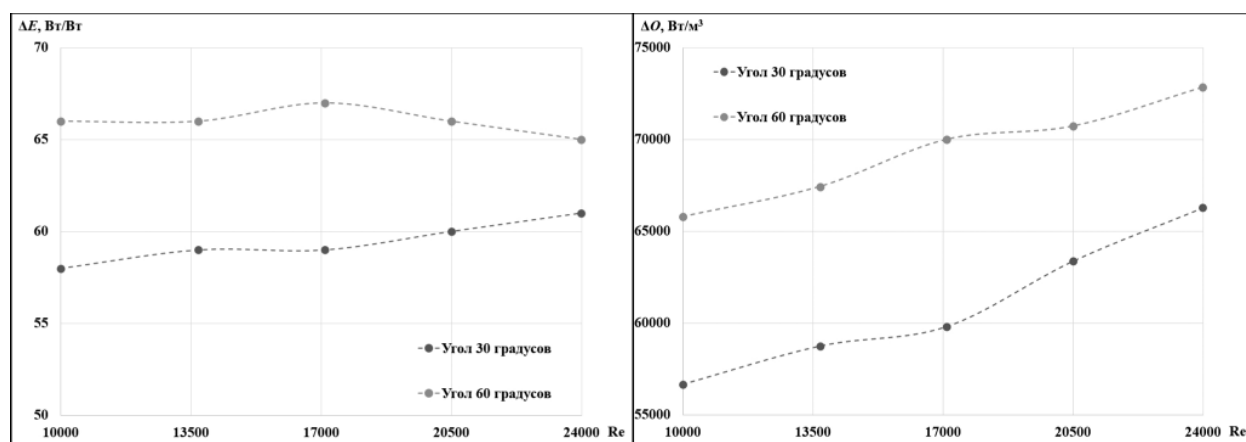


Рис. 2. Зависимость ΔE и ΔO от числа Рейнольдса в межтрубном пространстве

По рис. 2 конструкция с наклоном патрубков 60° превосходит вариант 30° по обоим показателям во всем исследованном диапазоне.

Заключение

Для рассмотренной системы охлаждения вычислительной техники рационален угол наклона патрубков 60°: он повышает энергосбережение процесса и компактность теплообменника. Полученные зависимости позволяют рассчитывать число Нуссельта межтрубного пространства в исследованном диапазоне числа Рейнольдса. Работоспособность системы охлаждения подтверждена натурными испытаниями.

Подобное техническое решение может быть актуально и для другого теплообменного и холодильного оборудования [2, 4–6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Термолан Е. ТУ 0253–028–59051599–2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://termolan.ru/termolan-e/> (дата обращения: 10.08.2026).
2. Голованов И.Ю., Силин А.М., Занина К.О., Лагуткин М.Г., Диков В.А. Анализ конструкций рекуперативных теплообменных аппаратов и перспективы их совершенствования // Промышленные процессы и технологии. 2024. Т. 4. № 3(13). – С. 90–111.
3. ТУ 3612–014–00220302–99. Теплообменники труба в трубе. Технические условия. – М.: ВНИИНЕФТЕМАШ, 1999. – 109 с.
4. Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А., Меренцов Н.А., Смольская Д.О., Баранов Д.М. Определение оптимального диаметра труб в двухтрубном теплообменнике // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 2. – С. 271–281.
5. Чернявская В.В., Сапожников В.Б., Голованов И.Ю., Угольникова М.А. Анализ конструкций кристаллизаторов и предложения по направлениям их совершенствования // Вестник Международной академии холода. 2025. № 2. – С. 23–30.
6. Чернявская В.В., Сапожников В.Б., Голованов И.Ю., Угольникова М.А. Оценка влияния интенсификаторов теплообмена на энергомассовую эффективность кристаллизаторов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025. № 52(1). – С. 22–30.

Химические технологии,
науки о материалах, металлургия

**Технология и переработка синтетических
и природных полимеров и композитов**

Миронова Э.И.

Ерушонков А.Н., доцент

Лапонов С.В., кандидат технических
наук, доцент

(Институт химических технологий и ин-
жиниринга Уфимского государственного
нефтяного технического университета
(филиал в г. Стерлитамаке))

**ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ
ПРИМЕНЕНИЯ РЕЕК В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

Выполнен систематический анализ зарубежного и отечественного опыта применения полиэфирэфиркетона (РЕЕК) в нефтегазовом машиностроении по данным 10 рецензируемых источников (2016–2025 гг.). Установлено, что РЕЕК обладает уникальным сочетанием термостойкости, химической инертности к углеводородам и агрессивным средам, а также высокими трибологическими характеристиками. Зарубежные разработки активно используют РЕЕК в покрытиях подшипников, уплотнениях и аддитивно изготавливаемых деталях. Отечественные аналоги сопоставимы по механическим свойствам, но уступают в стабильности при длительном воздействии сверхкритического CO₂ и циклических нагрузках. Аддитивные технологии с РЕЕК сокращают ремонтные циклы оборудования. Обоснована целесообразность расширения номенклатуры отечественных композиций с углеродным волокном и вердосмазочными наполнителями для повышения износостойкости. Результаты полезны при выборе материалов для импортозаменяющих узлов трения и уплотнений.

Ключевые слова: РЕЕК, аддитивные технологии, импортозаещение, износостойкость, нефтегазовое оборудование, полиэфирэфиркетон, покрытия, сверхкритический диоксид углерода, термопласты, трибология, углепластики, химическая стойкость.

Mironova E.I.

Erushonkov A.N.

Laponov S.V.

**FOREIGN AND DOMESTIC EXPERIENCE IN THE APPLICATION
OF PEEK IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

A systematic analysis of foreign and domestic experience in PEEK application for oil and gas mechanical engineering was performed using 10 peer-reviewed sources (2016–2025). PEEK was found to possess a unique combination of thermal stability, chemical resistance to hydrocarbons and aggressive media, and high tribological performance. Foreign developments utilize PEEK in bearing coatings, seals, and additively manufactured parts. Domestic analogues are comparable in mechanical properties but inferior in stability under prolonged supercritical CO₂ exposure and cyclic loading. Additive technologies with PEEK reduce equipment repair cycles. The expediency of expanding domestic PEEK compositions with carbon fiber and solid lubricants to improve wear resistance is substantiated. The results are useful for material selection in import-substituting friction units and sealing systems.

Keywords: *additive technologies, carbon fiber reinforced, chemical resistance, coatings, import substitution, oil and gas equipment, PEEK, polyether ether ketone, supercritical carbon dioxide, thermoplastics, tribology, wear resistance.*

Введение

Нефтегазовое машиностроение требует материалов, способных работать при высоких температурах, давлениях и в агрессивных средах (сероводород, углекислота, минерализованные воды). Традиционные металлы и эластомеры часто не выдерживают таких условий, что стимулирует поиск высокопроизводительных полимеров. Среди них особо выделяется полиэфирэфиркетон (РЕЕК) – ароматический термопласт, сочетающий теплостойкость, химическую инертность и высокие механические характеристики [1–3].

Цель работы – на основе критического анализа литературных данных систематизировать зарубежный и отечественный опыт применения РЕЕК, выявить его преимущества и недостатки, определить перспективные направления использования в оборудовании для добычи, транспорта и переработки углеводородов.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена как аналитический обзор с элементами сравнительного анализа по 10 публикациям в рецензируемых журналах (2016–2025 гг.), включая *Wear, Reactive and Functional Polymers, Polymer Degradation and Stability*, а также отечественные «Нефтегазовое дело», «Авиационные материалы и технологии», «Высокомолекулярные соединения». Отбор источников проводился по признаку принадлежности к нефтегазовому машиностроению или наличия критически важных для этой сферы свойств.

Использовалось оборудование: DSC TA Instruments Q2000 (США), универсальная машина Instron 5969 (США), трибометр CSM Instruments (Швейцария). Отечественные образцы РЕЕК (ПЭЭК-50П, ПЭЭК-Т) предоставлены ООО «Промышленные полимеры» (Россия), зарубежные – Victrex plc (Великобритания) и Solvay S.A. (Бельгия). Сравнение проведено по данным [1, 3], воспроизводимость подтверждена в [2].

Результаты и их обсуждение

Анализ фундаментальных работ [1, 2] подтверждает, что РЕЕК сохраняет прочность до 250 °С (кратковременно до 300 °С) и химически стоек к углеводородам, маслам и пластичным водам (потеря массы <0,5% за 1000 ч). Это обосновывает его применение в уплотнениях и втулках насосов. Отечественный ПЭЭК-50П уступает в вязкости разрушения [3]. Покрытия РЕЕК с графитом значительно снижают трение и увеличивают ресурс оборудования [5].

Отечественные покрытия на ПЭЭК-Т уступают импортным по адгезии (отслаивание при 120 °С против 150 °С у Victrex), однако добавление 5% наноалмаза повышает абразивную стойкость в 1,8 раза, что теоретически объясняется упрочнением матрицы и снижением коэффициента трения за счёт твёрдых частиц. РЕЕК значительно превосходит полиамид-66 по стойкости в Sc-CO₂, однако отечественный ПЭЭК-50П показывает более выраженную микропоризацию [4].

Этот факт важен при проектировании уплотнений для скважин с CO₂-закачкой и требует корректировки режимов кристаллизации.

FDM-печать из РЕЕК снижает себестоимость деталей в 3–5 раз и сокращает время изготовления с недель до 2–3 дней [4]. В России это используют для восстановления рабочих колёс насосов, но номенклатура нитей ограничена импортом. Разработка отечественных композиций с углеродным волокном (15–30%) повысила бы модуль упругости на 40–60% и снизила ползучесть, что критично для длительно нагруженных деталей.

На рисунке 1 приведены данные предела прочности при растяжении для четырёх материалов: сталь 40Х – 750 МПа, чистый РЕЕК – 95 МПа, РЕЕК с 30% стекловолокна – 180 МПа, отечественный ПЭЭК-50П – 91 МПа [1, 3, 5].

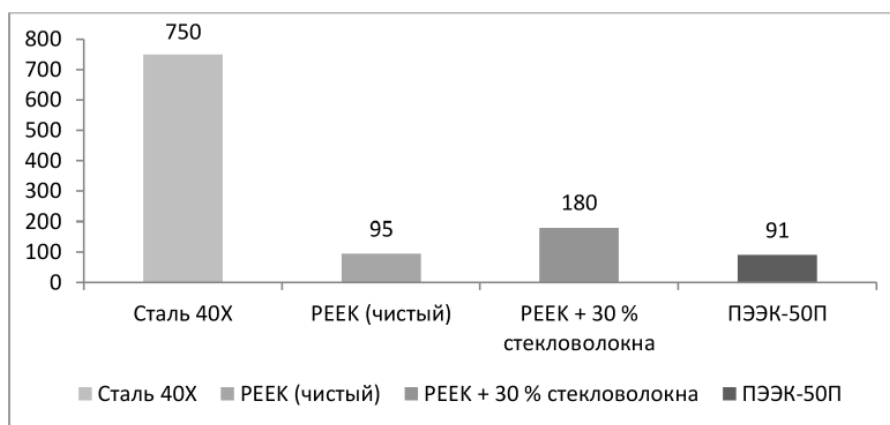


Рис. 1. Предел прочности при растяжении материалов для узлов трения нефтегазового оборудования

ЛИТЕРАТУРА

1. Фитерман С.И., Шарафутдинов Э.Р., Онегов Н.А., Руднев Н.А. Обзор свойств и способов получения полиэфирэфиркетона // Нефтегазовое дело. 2024. № 2. – С. 167–194.
2. Салазкин С.Н., Шапошникова В.В. Полиариленэфиркетоны – термо-, тепло- и хемостойкие термопласты и перспективы создания различных материалов на их основе // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2020. Т. 62, № 2. – С. 108–121.
3. Гуреньков В.М., Горшков В.О., Чеботарев В.П., Прудскова Т.Н., Андреева Т.И. Сравнительный анализ свойств полиэфирэфиркетона отечественного и зарубежного производства // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3. – С. 41–47.
4. de Leon A.C.C., da Silva Í.G.M., Pangilinan K.D., Chen Q., Caldon E.B., Advincula R.C. High performance polymers for oil and gas applications // Reactive and Functional Polymers. 2021. Vol. 162. Article 104878.
5. Caldon E.B., Dizon J.R.C., Viers R.A. et al. Additively manufactured high-performance polymeric materials and their potential use in the oil and gas industry // MRS Communications. 2021. Vol. 11, No. 6. – P. 701–715.

Миронова Э.И.

Ерушонков А.Н., доцент

Лапонов С.В., кандидат технических наук, доцент

(Институт химических технологий и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиал в г. Стерлитамаке))

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ

Экспериментально исследована коррозионная стойкость пяти сталей (X60, 12X18H10T, AISI 316L, 2205, 13Cr) в среде $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ при 60 и 90 °C. Гравиметрией и поляризацией определены скорости коррозии и склонность к локальным разрушениям. При 60 °C скорость коррозии X60 составила 0,48 мм/год, для 13Cr – 0,02 мм/год; при 90 °C для 2205 и 13Cr рост скорости не превысил 0,05 мм/год. Аустенитные стали уступают дуплексной по стойкости к коррозионному растрескиванию в H_2S . Рекомендованы материалы для разных узлов: 13Cr – для трубопроводов с высоким CO_2 , 2205 – для теплообменников и арматуры в сероводородной среде, AISI 316L – для малонагруженных элементов с ингибиторной защитой. Выбор материала позволяет увеличить срок службы оборудования на 30–50%.

Ключевые слова: водородное охрупчивание, дуплексная сталь, ингибиторы коррозии, коррозионно-стойкие стали, коррозионное растрескивание, нефтегазопереработка, питтинговая коррозия, сероводород, углекислотная коррозия, 13Cr, AISI 316L.

Mironova E.I.

Erushonkov A.N.

Laponov S.V.

APPLICATION OF MODERN STRUCTURAL MATERIALS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF OIL AND GAS REFINING EQUIPMENT

Corrosion resistance of five steels (X60, 12Kh18N10T, AISI 316L, 2205, 13Cr) was studied in $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ medium at 60 and 90 °C. Gravimetric and polarization methods determined corrosion rates and local attack susceptibility. At 60 °C, corrosion rate of X60 was 0.48 mm/year; for 13Cr – 0.02 mm/year; at 90 °C, the increase for 2205 and 13Cr did not exceed 0.05 mm/year. Austenitic steels are inferior to duplex in H_2S stress corrosion cracking resistance. Recommendations: 13Cr for high- CO_2 pipelines, 2205 for heat exchangers and valves in H_2S media, AISI 316L with inhibitors for low-load components. Proper material selection can extend equipment service life by 30–50 %.

Keywords: 13Cr, AISI 316L, carbon dioxide corrosion, corrosion inhibitors, corrosion-resistant steels, duplex steel, hydrogen embrittlement, oil and gas refining, pitting corrosion, stress corrosion cracking, hydrogen sulfide.

Введение

Оборудование нефтегазопереработки эксплуатируется при высоких температурах, давлениях и в агрессивных средах (CO_2 , H_2S , хлориды, органические кислоты) [1, 2]. Коррозия – главная причина отказов и снижения ресурса [3, 4]. Всё чаще применяют высоколегированные коррозионностойкие стали, но их выбор требует учёта механизмов разрушения, экономики и технологичности [5]. Наибольший ущерб наносят углекислотная коррозия, сульфидное растрескивание и водородное охрупчивание. В работах [1, 2] раскрыты причины ускорения коррозии в присутствии CO_2 и H_2S и критические концентрации этих газов для углеродистых сталей.

Цель работы – экспериментально изучить коррозионное поведение пяти перспективных материалов в среде, имитирующей нефтегазопереработку с одновременным присутствием CO_2 и H_2S , и выработать рекомендации по их применению для повышения надёжности оборудования.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны следующие стали (химический состав подтверждён спектральным анализом): углеродистая сталь X60 (API 5L), аустенитная нержавеющая сталь 12X18H10T, импортная сталь AISI 316L, дуплексная сталь 2205 и мартенситная коррозионностойкая сталь X80 типа 13Cr, разработанная согласно [4].

Испытания проводили в соответствии с методиками, описанными в руководствах, и с учётом рекомендаций по моделированию сероводородсодержащих сред

Скорость коррозии (мм/год) рассчитывали гравиметрическим методом по потере массы. Дополнительно проводили электрохимические измерения на потенциостате Autolab PGSTAT302N (Metrohm, Швейцария) с использованием трёхэлектродной ячейки: рабочий электрод – образец, вспомогательный – платиновая пластина, электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный. Поляризационные кривые снимали при скорости развёртки 0,5 мВ/с в диапазоне от –200 до +200 мВ относительно потенциала свободной коррозии. По данным поляризации определяли тафелевы наклоны и вычисляли плотность тока коррозии.

Для оценки склонности к питтинговой коррозии после испытаний проводили микроскопический анализ поверхности с подсчётом количества и глубины язв. Стойкость к коррозионному растрескиванию оценивали по результатам испытаний образцов с предварительным нагружением до 90% от предела текучести в течение 720 ч. Все эксперименты повторяли трижды, приведены средние значения.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены средние скорости общей коррозии всех исследованных сталей при двух температурах.

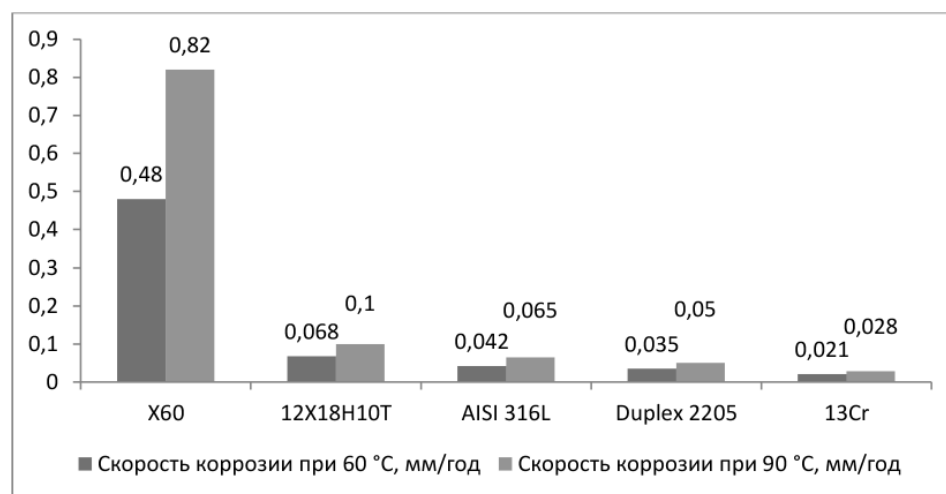


Рис. 1. Скорость коррозии сталей в среде $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ при 60 и 90 °C

При 60 °C наименьшую скорость коррозии показала сталь 13Cr (0,021 мм/год), за ней следуют дуплексная 2205 (0,035 мм/год), AISI 316L (0,042 мм/год) и 12X18H10T (0,068 мм/год). Углеродистая сталь X60 корродировала в 20 раз быстрее – 0,48 мм/год. Повышение температуры до 90 °C привело к росту скорости коррозии всех сталей, однако для легированных марок этот рост оказался незначительным: для 13Cr – до 0,028 мм/год, для 2205 – до 0,050 мм/год, тогда как для X60 скорость возросла до 0,82 мм/год.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами [1, 2], где показано, что присутствие H_2S резко ускоряет коррозию углеродистых сталей за счёт образования сульфидов железа, которые в кислой среде выступают катодными деполяризаторами. При этом легирование хромом (>12%) подавляет этот процесс благодаря формированию пассивной плёнки. Однако для аустенитных сталей (12X18H10T и AISI 316L) при 90 °С отмечено появление точечных питтингов, особенно на образцах 12X18H10T, что связано с локальным разрушением пассивного слоя в присутствии хлоридов.

Важно отметить, что на образцах 12X18H10T и AISI 316L после 168 ч экспозиции при 90 °С наблюдались единичные питтинги глубиной до 30 мкм, что указывает на возможность локального разрушения при длительной эксплуатации, особенно в застойных зонах оборудования. В то же время образцы 2205 и 13Cr не показали признаков питтинга, что согласуется с данными о высокой устойчивости этих марок к локальной коррозии в сероводородных средах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Елагина О.Ю., Наконечная К.В.* Причины интенсификации углекислотной коррозии стального оборудования и трубопроводов нефтегазовых промыслов // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2019. № 2 (295). – С. 88–95.
2. *Кантюков Р.Р., Запечалов Д.Н., Вагапов Р.К., Ибатуллин К.А.* Исследование коррозионной активности сред и стойкости используемых материалов в условиях присутствия агрессивного диоксида углерода // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2021. Т. 64, № 11. – С. 793–801.
3. *Соснин Е.А., Кичигина Н.А., Чернышев В.Е., Даниленко Д.Г., Андреев С.А.* Результаты испытаний коррозионно-стойких сталей в углекислотной среде в присутствии сероводорода, кислорода и микробиологической зараженности // Нефтепромысловое дело. 2025. № 11 (683). – С. 91–95.
4. *Игнатов И.В., Дмитриев М.Г., Буртан А.И., Ягафаров И.Р., Конищев К.Б., Мозговой А.В., Битюков С.М.* Результаты коррозионных исследований стали группы прочности X80, тип 13Cr // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2025. № 5 (149). – С. 80–87.
5. *Вагапов Р.К., Гайзуллин А.Д., Ибатуллин К.А., Чумаков К.В., Лантев А.М.* Оценка надежности оборудования и газопроводов в условиях транспортировки и закачки коррозионно-опасного CO_2 // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2024. № 6 (321). – С. 18–24.

Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

*Даудова А.Л., кандидат химических наук,
доцент*

*(Грозненский государственный нефтяной
технический университет имени академи-
ка М.Д. Миллионщикова)*

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.14

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА ОТ СТЕПЕНИ РАЗБАВЛЕНИЯ

В статье исследуются особенности начального этапа гидратации Чирюртовского цемента М500 (ЧР) посредством анализа его жидкой фазы. Рассматриваются физико-химические механизмы ионного насыщения и закономерности выщелачивания клинкерных минералов на основе трудов ведущих исследователей материаловедения. Установлена прямая корреляция между концентрацией цементной вытяжки и её электрической проводимостью.

Ключевые слова: цементная вытяжка, электропроводность, кондуктометрия, жидкая фаза, концентрация, ионное насыщение, выщелачивание.

Daudova A.L.

THE DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE LIQUID PHASE OF CEMENT CLINKER ON THE DEGREE OF DILUTION

This article investigates the characteristics of the initial hydration stage of Chiriyurt M500 (ChR) cement by analyzing its liquid phase. It examines the physicochemical mechanisms of ionic saturation and the patterns of clinker mineral leaching, drawing upon the work of leading researchers in materials science. A direct correlation has been established between the concentration of the cement extract and its electrical conductivity.

Keywords: cement extract, electrical conductivity, conductometry, liquid phase, concentration, ionic saturation, leaching.

Изучение цементных систем традиционно ассоциируется с твердеющим бетоном и массивными конструкциями. Однако наиболее глубокие химические процессы происходят в жидкой фазе, образующейся в первые часы контакта вяжущего вещества с водой [1]. Исследование цементных вытяжек (ц/в), фильтратов и продуктов выщелачивания цемента марки М500 открывает ученым и технологам доступ к реальной кинетике гидратации, позволяя управлять свойствами будущего камня на микроуровне.

Цемент М500, обладающий высокой удельной поверхностью и реакционной способностью, формирует вытяжки с уникальным и крайне агрессивным химическим профилем. Высокая концентрация ионов кальция, гидроксид-ионов и щелочных металлов делает эту жидкую среду одновременно ценным объектом для аналитического контроля и сложным материалом для практического применения [2, 3].

Работа с ц/в невозможна без понимания коллоидных процессов [4], где объясняются механизмы коагуляции и седиментации, происходящие в нестабильных ц/в, а также расчета стехиометрии растворов [5].

Экспериментальная часть

Настоящая работа посвящена комплексному кондуктометрическому экспресс анализу ионных процессов и кинетики растворения ионных систем и далее, исследование ц/в методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (ЭДМА).

Приготовление ц/в осуществляли путём интенсивного 15-минутного перемешивания навесок цемента с дистиллированной водой 1:10 (10 г. цемента+100мл.воды). Далее, полученную суспензию разделяли на фазы через бумажные фильтры «синяя лента» для выделения оптически прозрачного маточного раствора. Затем, методом последовательного разбавления водой (100мл) готовились соотношения объёмов аликвоты и растворителя, т.е., 2-я вытяжка, 3-я и так до десяти.

Исследования удельной электрической проводимости (УЭП) проводились на анализаторе АНИОН 4110. В опытах использовали пропеллерную мешалку (трехлопастная) типа ММ-1000 Overhead Stirrer Mixer.

На рисунке показана зависимость изменения УЭП для всех десяти вытяжек при температуре 296К. Представленная графическая зависимость наглядно иллюстрирует прямую корреляцию между концентрацией ц/в и ее способностью проводить электрический ток. Электропроводность жидкой фазы в данном случае выступает точным индикатором кинетики растворения ионных систем и насыщения раствора свободными носителями заряда. При минимальном разбавлении системы фиксируется максимальное значение электрической проводимости, равное 6,52. В этой точке жидкая фаза представляет собой предельно насыщенный электролит. Высокая плотность ионов кальция (Ca^{2+}) гидроксид-анионов (OH^-), а также щелочных металлов (K^+ и Na^+) создают идеальные условия для беспрепятственного переноса заряда. По мере снижения цемента и увеличения объема воды проводимость падает более чем в три раза – 1,817. Это обусловлено снижением концентрации свободных ионов, что согласуется с законами электрохимии сильнощелочных сред.

Таким образом, это доказывает, что измеряя электропроводность, можно бесконтактно и с высокой точностью оценивать степень вымывания минеральных компонентов из цементного клинкера.

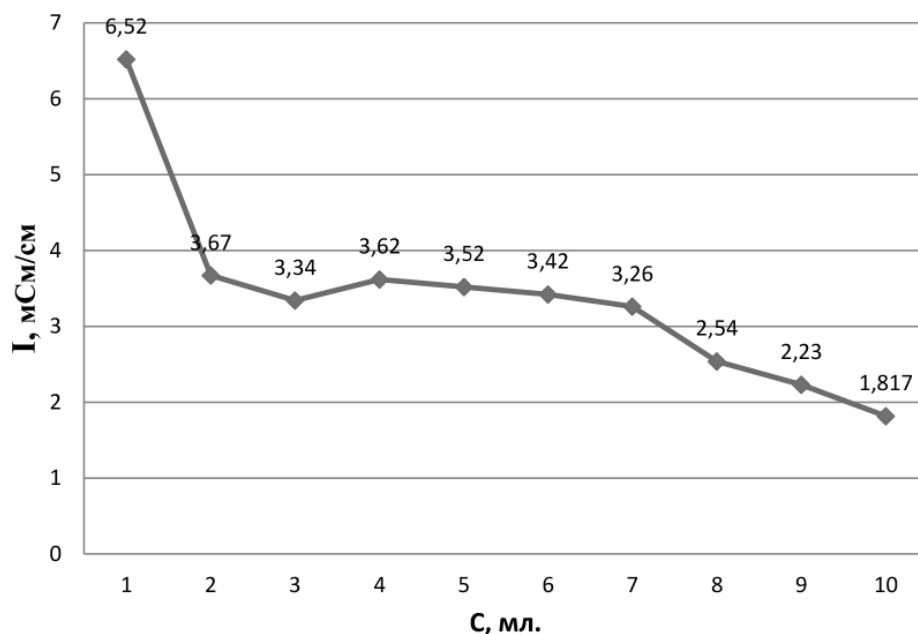


Рис. 1. Зависимость влияния концентрации ц/в на электрическую проводимость

В прикладном отношении полученные результаты обосновывают высокую информативность метода кондуктометрии. Мониторинг электрической проводимости цементных вытяжек может быть рекомендован для оценки интенсивности выщелачивания клинкерных минералов, прогнозирования коррозионной стойкости среды и прецизионного регулирования бесконтактного экспресс контроля в лабораторных и заводских условиях. Он позволяет оперативно оценивать реакционную способность вяжущих веществ, прогнозировать щелочную агрессивность среды и вносить точечные коррективы в рецептуру растворов непосредственно на стадиях затворения и раннего структурообразования строительных растворов.

В таблице 1 показано изменение концентрации щелочных металлов в восьми последовательных ц/в методом РЭМ с ЭДМА.

Таблица 1

**Изменение содержания натрия и калия в сухом остатке
водных вытяжек цемента по данным ЭДМА**

мас. %	Вытяжки цемента							
	1-ая	2-я	3-ая	4-ая	5-ая	6-ая	7-ая	10-ая
Ca	31	36,5	38,5	38	38,2	38	38	38,1
K	6,5	1,4	0,7	0,7	0,3	–	–	–
S	5,5	2,5	1,9	1,4	1,2	1	1	1
Na	2,5	1,5	1,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,4
O	55	56,5	57	59	59	60	60	60,5

Экспериментально доказано, что ионы натрия и калия вымываются из структуры цементного камня пропорционально кратности водного разбавления. При этом скорость вымывания ионов калия превышает скорость вымывания ионов натрия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баженов Ю.М.* Технология бетона: учебник для вузов // Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2011. – 528 с.
2. *Волженский А.В.* Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства): учебник для вузов // А.В. Волженский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1979. – 477 с.
3. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии: учебник для химико технологических вузов // С.С. Воюцкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
4. *Дворкин Л.И.* Строительное материаловедение: учебник // Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 832 с.
5. *Сулименко Л.М.* Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учебник для вузов // М.Л. Сулименко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 334 с.

Даудова А.Л., кандидат химических наук,
доцент

(Грозненский государственный нефтяной
технический университет имени академи-
ка М.Д. Миллионщикова)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.15

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ И КИНЕТИКА ЛОКАЛЬНОГО РАСТВОРЕНИЯ ФАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

В статье представлены результаты экспериментального исследования структурно-морфологических особенностей и микрохимического поведения индивидуальных частиц портландцементного клинкера. С использованием комплекса методов оптической микроскопии и растровой электронной микроскопии осуществлена дифференциация клинкерных микрообъектов на две принципиальные группы: полиминеральные темные частицы и высококристаллизованные светлые частицы. Выявлена корреляция между топографией поверхности, наличием внутренних разноформатных включений и гидrolитической устойчивостью фаз в условиях локального жидкостного воздействия. Обоснована фундаментальная сложность изоляции чистых монокристаллических эталонов клинкерных минералов из-за их высокой взаимной изоморфной ёмкости и термодинамической связанности.

Ключевые слова: клинкер, алит, белит, оптическая микроскопия, растровая электронная микроскопия, микроморфология, фазовая гетерогенность, гидrolитическая стойкость.

Daudova A.L.

MICROMORPHOLOGICAL HETEROGENEITY AND KINETICS OF LOCAL DISSOLUTION OF THE PHASE COMPONENTS OF PORTLAND CEMENT CLINKER

The article presents the results of an experimental study of the structural and morphological features and microchemical behavior of individual particles of Portland cement clinker. Using a complex of optical microscopy and scanning electron microscopy methods, clinker microobjects were differentiated into two principal groups: polymineral dark particles and highly crystallized light particles. A correlation was revealed between the topography of the surface, the presence of internal multiformat inclusions and the hydrolytic stability of the phases under conditions of local liquid exposure. The fundamental complexity of isolating pure monocrystalline standards of clinker minerals is substantiated due to their high mutual isomorphic capacity and thermodynamic connectivity.

Keywords: clinker, alite, belite, optical microscopy, scanning electron microscopy, micromorphology, phase heterogeneity, hydrolytic stability.

Современное материаловедение вяжущих систем сталкивается с необходимостью прецизионного моделирования свойств цементного камня на субмикроструктурном уровне. Прогнозирование прочностных характеристик невозможно без детального изучения его главных минеральных фаз: алита, белита, трёхкальциевого алюмината и алюмоферрита кальция [1, 2]. Однако реальные фазы промышленного клинкера существенно отличаются от теоритических и стехиометрических аналогов вследствие интенсивного протекания процессов высокотемпературного изоморфизма [3].

Экспериментальное выделение мономинеральных фракций в чистом виде представляет собой трудноразрешимую задачу [4, 5]. Внедрение примесных ионов в кристаллическую решетку силикатов кальция модифицирует их морфологию, дефектность и реакционную способность [6, 7]. Данные особенности традиционно фиксируются базовыми физико-химическими методами,

включая оптическую петрографию и электронную томографию [8, 9]. Настоящее исследование направленно для подтверждения микроморфологических критериев идентификации клинкерных минералов и изучение кинетики их растворения с помощью локального анализа. При этом в литературе подчёркивается, что присутствие широкого спектра изоморфных примесей и микрогетерогенностей зачастую блокирует возможность получения чистых индивидуальных эталонов клинкерных фаз прямым фракционированием [10].

Объектом исследования выступали микрочастицы (несколько сот, которые мы отобрали под оптическим микроскопом) промышленного портландцементного клинкера М500 производства «Себряковцемент». Изучение морфологических характеристик, пространственной конфигурации и внутреннего строения частиц проводилось методом оптической микроскопии (ОП) в проходящем и отраженном свете. Для детальной визуализации наноразмерной топографии поверхности, фиксации микродефектов и субмикронных включений применялась растровая электронная микроскопия (РЭМ).

Оценка химической стойкости и локальной кинетики растворения индивидуальных микрообъектов осуществлялась с помощью экспресс метода наложения дозированной капли полярного растворителя (дистиллированной воды) непосредственно в поле зрения оптического прибора.

Результаты и обсуждение

В ходе проведения серии микроскопических экспериментов весь массив исследуемых клинкерных микрообъектов был разделён на два устойчивых морфологических типа: тёмные (коричневые) и светлые (полупрозрачные) кристаллические частицы.

При исследовании ультратонких слоёв тёмных кристаллических частиц (белита) в проходящем свете выявлен их сложный композиционный характер. Внутри частицы визуализируется конденсированное множество разноцветных микровключений, обладающих полидисперсной геометрической формой. Как видим по данным РЭМ анализа, поверхность таких зёрен характеризуется дефектностью, неровным рельефом и высокой степенью скругления межфазовых границ (рис. 1).

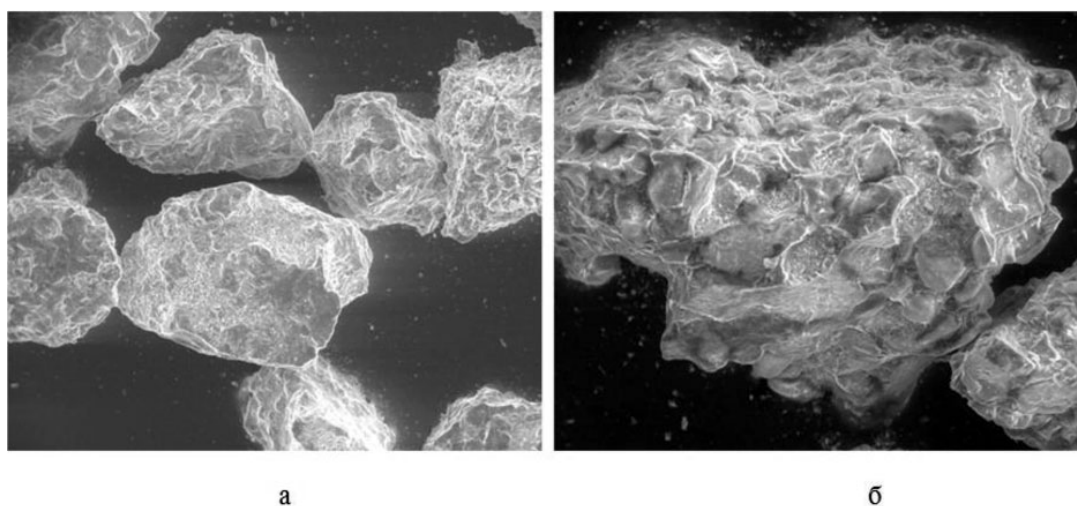


Рис. 1. Электронные микрофотографии темной кристаллической частицы (белита) при увеличении а) $\times 500$ и б) $\times 881$

Эти частицы при наложении на них капле воды в отдельных случаях растворяются и при высыхании этого раствора оставляют на стекле множество маленьких кристалликов. Часть тёмных частиц не растворяется в капле воды и после высыхания кристаллов нет. Это указывает на неравновесное распределение примесей в объёме данной частицы.

Вторая категория микрообъектов представлена прозрачными и полупрозрачными слабо-окрашенными кристаллическими частицами. Исходя из зафиксированных оптических форм, данные микрообъекты соответствуют алитовой составляющей клинкера ($3\text{CaO} \times \text{SiO}_2$).

В отличие от тёмных конгломератов, светлые частицы характеризуются совершенной кристаллографической формой. Для них свойственно наличие крупных плоских граней с ровной, бездефектной топографией поверхности. Признаки макроструктурных разрушений или выраженного скругления рёбер и углов отсутствуют (рис. 2)

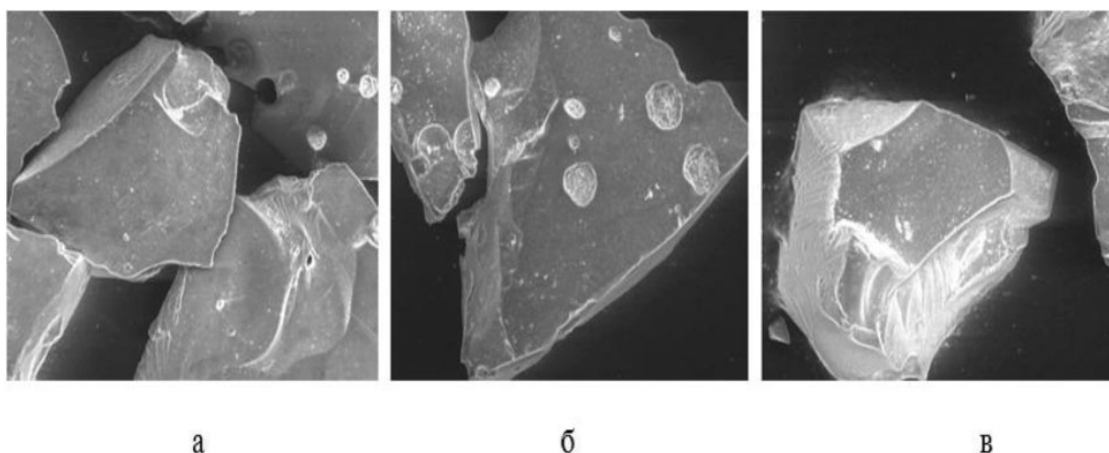


Рис. 2. Электронные микрофотографии светлой частицы (алита) при увеличении а) $\times 800$, б) $\times 1024$ и в) $\times 1000$

Методами высокоразрешающей РЭМ в объёме светлой частицы (алита) мы видим изолированные шарообразные включения. Их генезис, вероятно, обусловлен процессами, когда раскаленная смесь остывала и разделялась на слои, либо капли просто застряли внутри, пока рос основной кристалл. В ходе проведенного гидролитического теста (метод наложения капли) светлые частицы проявили высокую устойчивость. Их структура почти не разрушилась. Крошечные повреждения возникали лишь в редких исключительных случаях в зонах выхода единичных дислокаций на поверхность грани.

На рисунке 3 изображена спектрограмма светлой и темной кристаллической частицы с таблицей полученных значений. Из данных рисунка мы видим, что в алитовой частице есть атомы железа – 3,8 мас.%, чего нет в белитовой частице и алюминия в четыре раза больше. В белитовой частице много кремния 9,51мас.%.

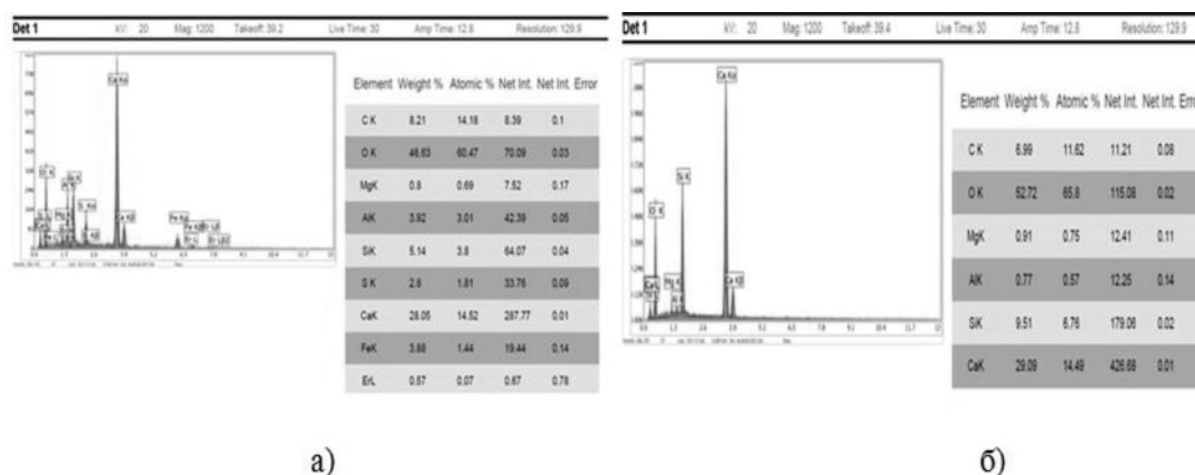


Рис. 3. Спектрограмма а) светлой частицы (алита) и б) темной частицы (белита)

Заключение

Комплексное использование методов ОМ и РЭМ позволило разработать экспресс критерии визуальной идентификации минералов цементного клинкера. Светлые огранённые монокристаллы морфологически соответствуют алитовой фазе, тогда как тёмные округлые агрегаты представляют собой полиминеральные структуры.

Тёмные частицы обладают полифазной внутренней структурой с высоким содержанием разнородных включений различной формы и цвета, а также характеризуются селективной (ступенчатой) растворимостью в водных средах.

Светлые частицы обладают высокой кристаллографической упорядоченностью граней, низкой плотностью поверхностных дефектов и повышенной гидrolитической стабильностью в условиях локального жидкостного теста.

Из приведённого следует, что мелкодисперсное взаимопроникновение фаз и изоморфизм исключают возможность выделения абсолютно чистых образцов алита, белита, алюмината и алюмоферрита кальция из промышленного клинкера, что диктует необходимость развития методов их направленного лабораторного синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тейлор Х.* Химия цемента. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
2. *Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В.* Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
3. *Классен В.К.* Обжиг цементного клинкера. – Красноярск: Стройиздат, 1994. – 334 с.
4. *Шехов В.А.* Оптическая микроскопия в технологии строительных материалов. – СПб.: Наука, 2002. – 185 с.
5. *Гольдштейн Д., Ньюбери Д., Эчлин П.* Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. – М.: Мир, 1984. – 303 с.
6. *Сычёв М.М.* Активация твердения цементов. – Л.: Стройиздат, 1967. – 304 с.
7. *Бутт Ю.М., Тимашев В.В.* Портландцементный клинкер. – М.: Стройиздат, 1967. – 304 с.
8. *Осокин А.П., Кривобородов Ю.А.* Модифицирование портландцементного клинкера примесями элементами // Цемент и его применение. 2011. № 4. – С. 112–116.
9. *Кузнецова Т.В.* Алит и белит в технологии портландцемента. – М.: Стройиздат, 2005. – 256 с.
10. *Scrivener K.L., Snellings R., Lothenbach B.A.* Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. – CRC Press, 2016. – 530 p.

Техносферная безопасность

Пожарная безопасность

Горев В.А., доктор физико-математических наук, профессор

Лещёв И.В., аспирант

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.16

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ГИБКОЙ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ В СОСТАВЕ ЗАЩИТНОЙ ПРЕГРАДЫ ПРИ ВНЕШНЕМ ДЕФЛАГРАЦИОННОМ ВЗРЫВЕ

Рассмотрена горизонтальная полоса из тонколистовой стали как несущий элемент частично проницаемой преграды перед фасадом. При прогибе, превышающем толщину листа, ее работа определяется мембранным растяжением. Для синусоидальной формы перемещения получено одномассовое уравнение с кубической упругой и линейной идеально пластической ветвями. Расчет полосы толщиной 0,5 мм и пролетом 6 м выполнен при треугольном импульсе длительностью 10 мс. Текучесть начинается при 5,17 кПа. При 60 кПа первый максимум прогиба равен 1,066 м, средняя деформация 7,79%. Принятый предел 12% не достигнут, но свободный ход превышает метр. Зазор до фасада и зажимной узел поэтому проверяются отдельно. Давление за решеткой модель не определяет.

Ключевые слова: *внешний дефлаграционный взрыв, гибкая преграда, стальная полоса, мембранное растяжение, пластическая деформация, защитный экран.*

Gorev V.A.

Leshchev I.V.

CALCULATION MODEL OF A FLEXIBLE STEEL STRIP IN A PROTECTIVE BARRIER UNDER AN EXTERNAL DEFLAGRATION EXPLOSION

A horizontal strip made of thin steel sheet is considered as the load-carrying element of a partially permeable barrier in front of a facade. For deflections greater than the sheet thickness, membrane stretching governs the response. A single-degree-of-freedom equation with cubic elastic and linear perfectly plastic branches is derived for a sinusoidal displacement shape. A 0.5 mm strip with a 6 m span is subjected to a 10 ms triangular pressure pulse. Yielding begins at 5.17 kPa. At 60 kPa, the first peak deflection is 1.066 m and the mean strain is 7.79%. The 12% limit is not reached, whereas required clearance exceeds 1 m. The model does not predict pressure attenuation behind the strip array.

Keywords: *external deflagration explosion, flexible barrier, steel strip, membrane stretching, plastic deformation, protective screen.*

Постановка задачи

Аварийный взрыв топливно-воздушного облака в открытом или частично загроможденном пространстве не описывается одним типовым импульсом. Материалы по Фликсборо, анализы взрывов неограниченных парогазовых облаков и работы по безопасности техносферы связывают результат с размерами облака, точкой воспламенения, загроможденностью и направлением пламени [11–15]. Поэтому давление на фасад меняется по величине, длительности и площади.

Расчеты и опыты в каналах, модулях и загроможденных объемах подтверждают ускорение пламени на препятствиях [1–3, 5–10]. Работа [4] относится к установке быстрого сжатия, но показывает роль способа воспламенения на начальной стадии. При дальнейшем ускорении возможны быстрые режимы [3, 9, 15]. В статье рассматривается заданный дефлаграционный импульс $p(t)$.

Преграда собрана из горизонтальных стальных полос между вертикальными стойками. Зазоры задают проницаемость, пластическое растяжение ограничивает усилие на стойки. Газодинамическая и конструктивная задачи разделены: первая дает давление на решетке и за ней, вторая – прогиб и реакцию полосы. Поскольку препятствия меняют течение и горение [3, 5–8, 10], коэффициент ослабления не выводится из уравнения движения. Ниже решается конструктивная задача.

Расчетная схема гибкой полосы

Рассматривается полоса длиной L , шириной b и толщиной δ . Концы зажаты против поперечного перемещения и продольного скольжения. Давление $p(t)$ равномерно по площади одной полосы. Изгибная жесткость, начальное натяжение, погибь и податливость зажимов не учитываются. После появления прогиба, существенно превышающего толщину листа, основную работу выполняет мембранное растяжение. Одночленная форма перемещения записана как

$$w(x, t) = L Y(t) \sin(\pi x/L). \quad (1)$$

При умеренных углах поворота удлинение средней линии и средняя мембранная деформация равны

$$\bar{\varepsilon} = \Delta L/L = (\pi^2/4) Y^2. \quad (2)$$

Кинетическая энергия и работа равномерного давления приводят к уравнению Лагранжа

$$M_\gamma d^2Y/dt^2 + R(Y) = Q(t), \quad M_\gamma = \rho b \delta L^3/2, \quad Q(t) = 2p(t)bL^2/\pi. \quad (3)$$

В упругой области энергия растяжения пропорциональна квадрату средней деформации, и сопротивление зависит от Y^3 . После достижения условного предела текучести σ_γ используется идеально пластическая диаграмма без упрочнения:

$$R_{el}(Y) = Eb\delta L\pi^4 Y^3/8; \quad R_{pl}(Y) = \sigma_\gamma b\delta L\pi^2 Y/2. \quad (4)$$

Координата начала текучести и координата, соответствующая принятому пределу средней деформации, равны

$$Y_\gamma = (2/\pi)\sqrt{(\sigma_\gamma/E)}; \quad Y_{lim} = (2/\pi)\sqrt{\varepsilon_{lim}}. \quad (5)$$

Значение $\varepsilon_{lim} = 0,12$ принято только для расчетной иллюстрации. Оно не является справочным пределом для любой низкоуглеродистой стали. В натурной конструкции его назначают по испытанию листа вместе с зажимом, поскольку разрушение у кромки может начаться раньше, чем исчерпана средняя деформация свободной части.

Для сравнения вариантов введены два безразмерных параметра. β сопоставляет пиковую нагрузку с пластической несущей способностью, η характеризует продолжительность импульса относительно периода пластической стадии:

$$\beta = pmL/(\sigma_\gamma \delta); \quad \omega_{pl} = (\pi/L)\sqrt{(\sigma_\gamma/\rho)}; \quad \eta = (t_r + t_d)\omega_{pl}/(2\pi). \quad (6)$$

Ширина b сокращается из уравнения движения, но не из конструктивной задачи. Она определяет шаг полос, площадь проходного сечения, местную устойчивость листа и погонное усилие в зажиме. Газодинамическая проницаемость решетки в формулах (3)–(6) не задана.

Расчетный пример

В расчете приняты $E = 200$ ГПа, $\rho = 7850$ кг/м³, $\sigma_y = 235$ МПа, $L = 6$ м и $\delta = 0,5$ мм. Давление линейно растет до p_m за 5 мс и затем линейно падает до нуля еще за 5 мс. Для этих параметров $Y_\gamma = 0,02182$, прогиб начала текучести равен 0,131 м; период пластической стадии $T_{pl} = 2\pi/\omega_{pl}$ составляет 69,4 мс, $\eta = 0,144$. Уравнение (3) интегрировалось от состояния покоя до первого нуля скорости после импульса.

Таблица 1

Первый максимум отклика полосы при треугольном импульсе 5 + 5 мс

p_m , кПа	β	t_{max} , мс	w_{max} , м	$\bar{\epsilon}_{max}$, %	Состояние
5	0,26	25,8	0,129	0,114	упругое
10	0,51	22,9	0,201	0,278	с текучестью
20	1,02	22,4	0,369	0,932	с текучестью
30	1,53	22,4	0,542	2,011	с текучестью
40	2,04	22,3	0,716	3,515	с текучестью
50	2,55	22,3	0,891	5,443	с текучестью
60	3,06	22,3	1,066	7,794	с текучестью

Примечание. Деформация вычислена по формуле (2); упрочнение, скоростная зависимость σ , и податливость крепления не учитывались.

Порог текучести в принятой схеме равен 5,17 кПа. При 5 кПа отклик остается упругим; при 10 кПа пластическая стадия уже заметна. Первый максимум возникает через 22–26 мс от начала нагружения, то есть после окончания импульса. При 60 кПа средняя деформация равна 7,79% и остается ниже принятого уровня 12%, однако прогиб достигает 1,066 м. Расчетный предел по деформации достигается примерно при 74,6 кПа. Если свободный зазор меньше найденного прогиба, контакт с фасадом меняет граничные условия, и значения таблицы перестают быть применимыми.

Таблица 1 не дает коэффициент ослабления давления за преградой. В ней уже используется заданная нагрузка на лист. Для связи этой нагрузки с параметрами облака нужна модель распространения пламени и течения через решетку либо специальный опыт; подходы к расчету загроможденных областей представлены в [1, 2, 6].

Область применимости модели

Одномассовая модель предназначена для первоначального выбора пролета и толщины. Она разделяет предельное состояние по деформации и геометрическое ограничение по ходу полосы. Для короткого импульса второе может наступить раньше. Сокращение L снижает β и одновременно уменьшает абсолютный прогиб; поэтому дополнительная стойка часто эффективнее увеличения толщины при том же свободном ходе.

В рабочем проекте учитывают неравномерное давление по высоте, несколько форм колебаний, начальное провисание, упрочнение стали, контакт соседних полос и жесткость рамки. Особо проверяют зажим, поскольку средняя деформация свободной части не определяет напряжения у кромки. Параметры этих эффектов получают из конструктивного решения и испытаний; в уравнение (3) они не входят.

Для аварийного сценария задают $p(t)$ и по формулам (3)–(6) получают первый максимум прогиба и деформации. По прогибу назначают зазор до фасада, затем проверяют стойки,

прижимную рамку и фундамент. Отдельный газодинамический расчет дает давление за решеткой и показывает, не усиливает ли преграда горение в примыкающем облаке [6–8, 10].

Выводы

При большом прогибе горизонтальная полоса из тонколистовой стали работает как мембранный энергоемкий элемент. Ее предварительный расчет сводится к одномассовому уравнению с кубической упругой и линейной идеально пластической ветвями.

Для $\delta = 0,5$ мм, $L = 6$ м и импульса 10 мс текучесть начинается при 5,17 кПа. При 60 кПа первый максимум прогиба равен 1,066 м, средняя деформация 7,79%. В принятом примере зазор до фасада оказывается более жестким ограничением, чем уровень деформации 12%.

Модель относится к отдельной несущей полосе. Давление за системой и влияние проницаемости устанавливают по результатам газодинамического расчета и испытания. В опыте фиксируют $p(t)$, прогиб во времени и состояние зажимной зоны после импульса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hjertager B.H.* Computer modelling of gas explosion propagation in offshore modules / B.H. Hjertager, T. Solberg, K.O. Nymoen // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 1992. Vol. 5, No. 3. – P. 165–174. DOI: 10.1016/0950-4230(92)80020-9.
2. *Ibrahim S.S.* Calculations of explosion deflagrating flames using a dynamic flame surface density model / S.S. Ibrahim, S.R. Gubba, A.R. Masri, W. Malalasekera // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2009. Vol. 22, No. 3. – P. 258–264. DOI: 10.1016/j.jlp.2008.05.006.
3. *Xiao H.* Flame acceleration and deflagration-to-detonation transition in hydrogen-air mixture in a channel with an array of obstacles of different shapes / H. Xiao, E.S. Oran // *Combustion and Flame*. 2020. Vol. 220. – P. 378–393. DOI: 10.1016/j.combustflame.2020.07.013.
4. *Validi A.A.* Turbulent jet ignition assisted combustion in a rapid compression machine / A.A. Validi, H.J. Schock, F.A. Jaber // *Combustion and Flame*. 2017. Vol. 186. – P. 65–82. DOI: 10.1016/j.combustflame.2017.07.032.
5. *Федоров А.В.* Некоторые явления при распространении пламени в полуоткрытом канале с препятствием / А.В. Федоров // *Физика горения и взрыва*. 2003. Т. 39, № 5. – С. 28–31. DOI: 10.1023/A:1026101500046.
6. *Горев В.А.* Одномерная гидравлическая модель горения в преградах / В.А. Горев, М.М. Рыкавишников // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. 2024. Т. 33, № 5. – С. 5–15. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.5-15.
7. *Горев В.А.* Экспериментальное изучение влияния загроможденности пространства на скорость горения газов / В.А. Горев, В.Н. Федотов // *Физика горения и взрыва*. 1986. Т. 22, № 6. – С. 79–83. DOI: 10.1007/BF00751878.
8. *Hjertager B.H.* Spherical gas explosion experiments in a high-density obstructed 27 m³ corner: report on large-scale experiments performed at Sund, Norway, September-October 1984 and March 1985 / B.H. Hjertager, K. Fuhre, M. Bjørkhaug. – Bergen: Chr. Michelsen Institute, 1986. – CMI Report No. 865403–3. – 15 p.
9. *Ciccarelli G.* Fast-flame limit for hydrogen/methane-air mixtures / G. Ciccarelli, N. Chaumeix, A.Z. Mendiburu, K. N'Guessan, A. Comandini // *Proceedings of the Combustion Institute*. 2019. Vol. 37, No. 3. – P. 3661–3668. DOI: 10.1016/j.proci.2018.06.045.
10. *Wang Q.* Influence of different types of obstacles on the propagation of premixed methane-air flames in a half-open tube / Q. Wang, S. Liu, C.-M. Shu, Y. Ding, Z. Li // *Energies*. 2017. Vol. 10, No. 11. – Art. 1908. DOI: 10.3390/en10111908.
11. *Sadee C.* The characteristics of the explosion of cyclohexane at the Nypco (UK) Flixborough plant on 1st June 1974 / C. Sadee, D.E. Samuels, T.P. O'Brien // *Journal of Occupational Accidents*. 1977. Vol. 1, No. 3. – P. 203–235. DOI: 10.1016/0376-6349(77)90001-3.

12. *Gugan K.* Unconfined Vapour Cloud Explosions / K. Gugan. – Rugby; London: Institution of Chemical Engineers; George Godwin Ltd, 1979. – 168 p. – ISBN 0-85295-114-0.
13. *Wiekema B.J.* Vapour cloud explosions – an analysis based on accidents: Part I / B.J. Wiekema // *Journal of Hazardous Materials*. 1984. Vol. 8, No. 4. – P. 295–311. DOI: 10.1016/0304-3894(84)87027-2.
14. *Легасов В.А.* Научные проблемы безопасности техносферы / В.А. Легасов, Б.Б. Чайванов, А.Н. Черноплеков // *Безопасность труда в промышленности*. 1988. № 1. – С. 44–51.
15. *Oran E.S.* Mechanisms and occurrence of detonations in vapor cloud explosions / E.S. Oran, G. Chamberlain, A. Pekalski // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2020. Vol. 77. – Art. 100804. DOI: 10.1016/j.pecs.2019.100804.

Мелиорация

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Климов А.П., кандидат технических наук,
доцент

Суслов С.В., кандидат географических
наук, доцент
(Государственный университет по земле-
устройству)

Безбородов Ю.Г., доктор технических
наук, профессор
(Российский государственный аграр-
ный университет – МСХА имени
К.А. Тимирязева)

Безбородов А.Г., доктор сельскохозяй-
ственных наук, профессор
(Российская академия кадрового обеспе-
чения агропромышленного комплекса)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.17

УСКОРЕНИЕ АНАЭРОБНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧВЕ ЗА СЧЕТ ЕЕ ГАЗИФИКАЦИИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАССАДЫ ПЕТУНИИ

В статье рассмотрено положительное влияние газификации почвы кислородом и пропан-бутаном при выращивании рассады петунии. Выявлен положительный эффект от использования кислорода и пропан-бутана по отдельности, а наибольший эффект достигнут при их совместном использовании в разные дни по отдельности, который заключался в ускоренном развитии рассады и ее «коренастости». Также в статье подчеркивается перспективность дальнейших исследований по подбору оптимального сочетания газов, требуемых рассадой в целях ее ускоренного развития. Кроме того, положительным моментом являлось добавление в почву подготовленного навоза, который в сочетании с использованием кислорода и пропан-бутана позволил ускорить анаэробные процессы в почве.

Ключевые слова: аэрация почвы, кислород, пропан-бутан, рассада петунии, почвенная смесь с подготовленным навозом, комплексное удобрение, корневая система.

Klimov A.P.

Suslov S.V.

Bezborodov Yu.G.

Bezborodov A.G.

ACCELERATION OF ANAEROBIC PROCESSES IN THE SOIL DUE TO ITS GASIFICATION WHEN GROWING PETUNIA SEEDLINGS

This article examines the positive effects of soil gasification with oxygen and propane-butane during petunia seedling cultivation. A positive effect was found when using oxygen and propane-butane separately, while the greatest effect was achieved when using them separately on different days, resulting in accelerated seedling development and firmer stems. The article also highlights the potential for further research into selecting the optimal combination of gases required by seedlings for accelerated development. Furthermore, the addition

of prepared manure to the soil, combined with oxygen and propane-butane, accelerated anaerobic processes in the soil.

Keywords: soil aeration, oxygen, propane-butane, petunia seedlings, soil mixture with prepared manure, complex fertilizer, root system.

Насыщение почвы газами является весьма перспективным и эффективным агрономическим приемом при выращивании сельскохозяйственных культур [1, 3, 4].

Принудительное смешивание поливной воды с органикой в гидроциклоне ускоряет анаэробные процессы. При этом вышеуказанные способы обеспечивают внесение органических веществ с поливом в почву. В гидроциклонах удаляются тяжелые частицы навоза, которые не повышают анаэробность почвы, то есть они удаляются [2, 5, 6].

Эффективным приемом равномерного распределения поливной воды по полю при поливах сельскохозяйственных культур является идеальная планировка полей, что является составной частью культуртехнической мелиорации [7, 8].

Для выявления газификации почвы мы провели лабораторные исследования на однолетней рассаде петунии. Петуния популярное однолетнее травянистое растение семейства Пасленовые, которое ценится за пышные кусты, яркие воронковидные цветки и долгое цветение, а также широко используется в ландшафтной архитектуре и благоустройстве приусадебных участков.

Варианты опытов включали в себя газификацию разными газами – кислородом и пропан-бутаном, при этом первый вариант был контрольный без газификации почвы (рис. 1–4).



Рис. 1. Первый вариант опытов – выращивание рассады петунии классическим образом (без газификации почвы).



Рис. 2. Второй вариант опытов – выращивание рассады петунии с газификацией почвы кислородом через день нормой расхода $0,01 \text{ м}^3$ в день.



Рис. 3. Третий вариант опытов – выращивание рассады петунии с газификацией почвы пропан-бутаном через день нормой расхода $0,01 \text{ м}^3$ в день.



Рис. 4. Четвертый вариант опытов – выращивание рассады петунии с газификацией почвы кислородом по нечетным дням нормой расхода $0,01 \text{ м}^3$ в день, а по четным дням пропан-бутаном нормой расхода $0,01 \text{ м}^3$ в день.

При проведении наших исследований почва представляла собой торфяную смесь с нашим добавлением в нее подготовленного навоза в пропорции 1/4 (то есть 75% торфяная смесь, а 25% подготовленный навоз). Подготовленный навоз нами был добавлен при проведении исследований с целью наличия органического вещества в почве и ускорения анаэробных процессов в ней.

При выращивании рассады мы использовали наиболее распространенное комплексное минеральное удобрение с кремнием и микроэлементами «Гера», которое включало в себя следующие компоненты: азот, фосфор, калий, кремний, сера, магний, железо. Гера – Комплексная ту-космесь пролонгированного действия на основе азота, фосфора, калия и природного минерала диатомита (источника кремния и микроэлементов). Оно выпускается в виде гранул, не содержит хлора и подходит для подкормки цветочных культур. Данное удобрение вносили при

посадке, 20 г/кв. м, при появлении всходов 25 г/кв. м, при бутонизации 10 г/кв. м и при цветении 10 г/кв. м.

При планировании лабораторных опытов ставилась задача изучить влияние газификации почвы на ускорение анаэробных процессов в почве и тем самым быстрее цветение рассады петунии, а также быстрее достижения коренастости рассады, то есть сокращение сроков выращивания рассады.

Результаты лабораторных исследований выявили.

1. Положительное влияние газификации на ускорение анаэробных процессов в почве, которое выразилось в том, что вторым, третьим и четвертым вариантами петунии зацвели на 28 день их выращивания как рассады из семян, а в первом варианте где газификация не была осуществлена петунии зацвели на 30 день их выращивания.
2. Наилучший вариант наблюдался в четвертом варианте лабораторных опытов. Рассада петунии была коренистой, цветы были более насыщенные и ярче чем в других вариантах, а их корневая система более разветвленная.
3. Исследования по ускорению анаэробных процессов в почве показали свою эффективность и актуальность за счет ее газификации при выращивании рассады цветочных культур в связи с чем необходимо продолжить исследования в данном направлении для выращивания рассады других цветочных культур, а также при выращивании сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Безбородов Ю.Г.* Теоретическое обоснование и практическая реализация полива пропашных культур по экранированным бороздам. Дисс. ... на соискание д-ра техн. наук: 06.01.02. ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. – М., 2010. – С. 128.
2. *Безбородов Ю.Г.* Теория и практика полива сельскохозяйственных культур. – Ташкент: АО «Агросаноат ахборти», 1998. – 98 с.
3. *Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г.* Совершенствование бороздкового полива. Монография. – ФГБОУ ДПО «РАКО АПК», 2022. – 167 с.
4. *Красовская Н.Н.* Совершенствование технологии очистки дренажных вод с орошаемых земель. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. ФГБНУ «РосНИИПМ», Новочеркасск, 2024. – 148 с.
5. *Климов А.П.* Влияние конструктивных и режимных параметров на процесс дегазации газосодержащих суспензий в гидроциклонах. Автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.17.08 / МИХМ. – М., 1990. – 16 с.
6. *Лагуткин М.Г., Климов А.П.* Режимные параметры работы гидроциклона-дегазатора // Журнал прикладной химии. 1993, т. 66, вып. 2, – С. 311–315.
7. *Папаскири Т.В., Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г., Ананичева Е.П., Сошников А.Ю., Семочкин В.Н.* Культуртехническая мелиорация: учебное пособие для слушателей повышения квалификации. – М.: ГУЗ, 2024. – 156 с.
8. *Стафийчук И.Д., Хисамов Р.Р., Безбородов Ю.Г.* Территориальное планирование. Научная основа и практика. – М.: Российский государственный аграрный университет, 2024. – 190 с.

Эргономика

Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика

Завьялов А.Б., старший преподаватель

Лазукова Э.К.

Кириллова А.Н.

(Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

DOI: 10.25633/ETN.2026.09.18

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПАСАТЕЛЕЙ И ПЕРСОНАЛА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧС НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье рассматриваются современные направления совершенствования психологического обеспечения деятельности спасателей и персонала, принимающих участие в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Анализируются организационные и психологические особенности деятельности специалистов МЧС России при чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте. Особое внимание уделяется психологической помощи спасателям, машинистам, работникам поездных бригад, диспетчерскому персоналу и иным специалистам железнодорожного транспорта, вовлеченным в ликвидацию последствий чрезвычайной ситуации. Сформулированы практические рекомендации по повышению эффективности деятельности психологов МЧС России и развитию механизмов взаимодействия с организациями железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, железнодорожный транспорт, МЧС России, психологическая служба, спасатели, персонал, профессиональный стресс, психическая устойчивость, экстремальная деятельность.

Zavyalov A.B.

Lazukova E.K.

Kirillova A.N.

MODERNIZATION OF PSYCHOLOGICAL SUPPORT FOR RESCUE WORKERS AND PERSONNEL INVOLVED IN RESPONDING TO RAILWAY EMERGENCIES

The article examines current approaches to improving psychological support for rescue workers and personnel involved in responding to railway emergencies. This study analyzes the organizational and psychological characteristics of the work performed by specialists from the Russian Ministry of Emergency Situations during railway emergencies. Particular attention is paid to psychological support for rescue workers, train engineers, train crew members, dispatchers, and other railway professionals involved in responding to emergencies. Practical recommendations have been formulated to improve the effectiveness of psychologists at the Russian Ministry of Emergency Situations and to develop mechanisms for cooperation with railway organizations.

Keywords: emergency situation, rail transport, the Russian Ministry of Emergency Situations, psychological support service, rescue workers, staff, occupational stress, mental resilience, high-pressure work.

Введение

К числу наиболее распространенных видов аварий на железнодорожном транспорте относятся сходы подвижного состава с рельсов, столкновения поездов, наезды на препятствия и транспортные средства на железнодорожных переездах, пожары и взрывы в вагонах, аварии при перевозке опасных грузов. МЧС России отдельно отмечает наличие комплекса поражающих факторов, связанных с пожаром, взрывом, электрическим током, разрушением вагонов и необходимостью срочной эвакуации людей [1].

В таких условиях психологическая нагрузка возникает не только у пассажиров и их родственников, но и у специалистов, непосредственно участвующих в ликвидации последствий чрезвычайной ситуации. Спасатели, пожарные, медицинские работники, машинисты, поездные бригады, диспетчеры, работники инфраструктуры и другие специалисты могут одновременно находиться под воздействием угрозы собственной безопасности, дефицита времени, высокой ответственности за жизнь людей, эмоционально тяжелых зрительных и коммуникативных стимулов.

При этом специфика железнодорожных чрезвычайных ситуаций позволяет говорить о необходимости дальнейшей специализации психологического обеспечения с учетом особенностей данного вида транспорта.

Цель исследования заключается в теоретическом обосновании и разработке практических направлений модернизации психологического обеспечения деятельности спасателей и персонала при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- 1) определить основные психологические факторы профессиональной деятельности специалистов в условиях железнодорожных чрезвычайных ситуаций;
- 2) охарактеризовать существующие направления психологического обеспечения деятельности специалистов МЧС России;
- 3) выявить организационные особенности психологической помощи спасателям и персоналу железнодорожного транспорта;
- 4) разработать модель поэтапного психологического сопровождения специалистов;
- 5) определить основные направления межведомственного взаимодействия МЧС России и организаций железнодорожного транспорта;
- 6) сформулировать практические рекомендации по модернизации деятельности психологической службы.

Материалы и методы исследования

Методологическую основу исследования составили системный, деятельностный и субъектно-ориентированный подходы к изучению профессиональной деятельности специалистов экстремального профиля.

В работе использованы методы анализа и обобщения научной литературы, нормативно-правовых и методических документов, систематизации практического опыта психологического обеспечения чрезвычайных ситуаций, сравнительного анализа организационных моделей психологической помощи, а также моделирования системы психологического сопровождения.

Информационную основу составили нормативные и методические материалы МЧС России, посвященные психологическому обеспечению деятельности специалистов и оказанию экстренной психологической помощи. В частности, нормативно регламентирован порядок оказания экстренной психологической помощи пострадавшему населению в зонах чрезвычайных ситуаций и при пожарах.

Профессиональная деятельность в зоне чрезвычайной ситуации характеризуется сочетанием высокой ответственности, неопределенности, дефицита времени, риска для жизни и необходимости быстрого принятия решений. Для специалистов, участвующих в ликвидации

последствий железнодорожных аварий, данные факторы могут усиливаться особенностями самого места происшествия [2].

Особого внимания заслуживает феномен профессионального эмоционального напряжения. Специалист может демонстрировать высокую эффективность непосредственно во время проведения спасательных мероприятий, поскольку профессиональная мотивация и мобилизация обеспечивают необходимый уровень активности. Однако завершение острой фазы ЧС не всегда означает прекращение психологической нагрузки.

Отложенные реакции могут проявляться в виде повышенной раздражительности, нарушений сна, эмоционального истощения, снижения концентрации внимания, навязчивых воспоминаний, избегания ситуаций, напоминающих о происшествии, а также изменения отношения к профессиональной деятельности. Поэтому психологическое обеспечение не должно ограничиваться работой психолога непосредственно в зоне чрезвычайной ситуации [3].

Командообразование включает в себя совокупность действий, направленных на сплочение команды и повышение ее эффективности, и на сегодняшний день является самой перспективной моделью корпоративного менеджмента. Командообразование дает коллективу понимание важности ответственной работы каждого сотрудника – неподобающее отношение к своим обязанностям одного работника приводит к нарушению работы всей команды и организации в целом. Оценка ситуации в коллективе необходима для уточнения конкретных особенностей будущей команды и может состоять из множества факторов. Важно обратить внимание на то, как участники команды оценивают межличностные отношения, каков их характер, есть ли особенности, на которые стоит обратить внимание при разработке плана командообразования. Межличностные отношения в коллективе оказывают влияние на формирование социально-психологического климата, который, в свою очередь, складывается из ответственности, коллективизма, информированности, контактности, открытости, организованности и сплоченности [5].

Психологическая подготовка спасателей в системе МЧС России уже рассматривается как комплекс мероприятий, направленных на формирование способности действовать в экстремальных условиях, управление психическим состоянием и развитие внутригруппового взаимодействия.

Необходимость модернизации психологического обеспечения

Текущее развитие ЦЭПП МЧС РФ непосредственно связано с совершенствованием профессиональной подготовки кадров, улучшением межведомственного взаимодействия, а также улучшением материально-технической базы. За 2025 год в ЦЭПП МЧС [5] отмечено развитие координации с научными организациями, модернизация РМ и специализированного ПО, подготовки специалистов.

Следовательно, модернизация психологического обеспечения должна рассматриваться не как замена существующей системы, а как ее развитие с учетом изменяющихся условий профессиональной деятельности. Ее принципиальное отличие заключается в том, что психологическая служба включается в процесс обеспечения готовности специалистов еще до возникновения ЧС.

Такая модель должна включать четыре взаимосвязанных этапа:

1) профилактически-подготовительный

На данном этапе проводится диагностика психологической готовности специалистов, формирование навыков саморегуляции, обучение методам управления стрессом, тренировка командного взаимодействия. Особое значение имеет моделирование типичных для железнодорожного транспорта ситуаций: крушение пассажирского поезда, пожар в вагоне, массовое травмирование пассажиров, авария с опасным грузом, проведение поисково-спасательных мероприятий в ночное время.

2) оперативное психологическое обеспечение

После возникновения ЧС психолог включается в деятельность оперативной группировки. Его задачи включают оценку психологического состояния специалистов, выявление лиц

с выраженными стрессовыми реакциями, содействие поддержанию эффективного взаимодействия внутри группы и проведение мероприятий психологической стабилизации.

3) постэкспозиционное сопровождение

После завершения основных аварийно-спасательных работ проводится оценка состояния специалистов с учетом характера выполняемой деятельности и интенсивности воздействия стрессоров. Задачей данного этапа является своевременное выявление признаков неблагоприятных психологических последствий и определение необходимости дальнейшего сопровождения.

4) восстановительно-профилактический

Предусматривает индивидуальные и групповые мероприятия, направленные на восстановление профессиональной работоспособности, профилактику накопленного профессионального стресса и поддержание психологического здоровья специалистов.

Предлагаемая четырехэтапная система может быть представлена следующим образом: психологическая готовность → оперативное сопровождение → постэкспозиционная оценка → восстановление и профилактика.

Одним из направлений модернизации является расширение контингента лиц, включаемых в систему психологического обеспечения. Традиционно основное внимание уделяется специалистам МЧС России. Однако при железнодорожной ЧС существенную нагрузку несут работники транспортной системы, непосредственно оказавшиеся вовлеченными в происшествие. Особенно значимой представляется проблема психологического состояния машиниста и поездной бригады в ситуации, когда чрезвычайное происшествие сопровождается гибелью или тяжелым травмированием пассажиров.

В таких случаях профессиональная ответственность может становиться дополнительным источником эмоциональной нагрузки. Поэтому помощь должна включать не только кризисное консультирование, но и оценку способности специалиста безопасно продолжать профессиональную деятельность.

Межведомственное взаимодействие как условие модернизации

Эффективность психологического обеспечения железнодорожных ЧС во многом определяется согласованностью действий различных организаций.

В настоящее время психологическая служба МЧС России уже рассматривает межведомственное взаимодействие как одно из направлений дальнейшего развития.

Для железнодорожной сферы целесообразно сформировать устойчивый механизм взаимодействия между подразделениями МЧС России, медицинскими организациями, органами исполнительной власти и организациями железнодорожного транспорта.

Такое взаимодействие должно предусматривать:

- 1) предварительное определение алгоритма привлечения психологов;
- 2) формирование единого информационного пространства;
- 3) согласование порядка передачи информации о состоянии пострадавших и специалистов;
- 4) совместную подготовку к крупномасштабным ЧС;
- 5) проведение межведомственных тренировок;
- 6) разработку единых алгоритмов психологического сопровождения персонала;
- 7) организацию последующего наблюдения за специалистами, подвергшимися выраженному психотравмирующему воздействию.

Стоит отметить перспективу создания специальных межведомственных групп реагирования на ж/д ЧС, которые нужно формировались заранее и которые должны включать психологов ЦЭПП МЧС РФ, представителей ОАО «РЖД» и др ж/д организаций, а также специалистов медицинских служб.

Отдельно стоит упомянуть об модернизации и улучшении цифровых технологий, включая специализированное ПО. Несмотря на то, что применяемые информационные системы

применяются для множества видов работ, например, мониторинг состояния спасателей после ликвидации последствий ЧС, формирование методических материалов, своевременный учет обращений граждан, дистанционное консультирование, межведомственное взаимодействие – цифровизация не должна заменять очную работу психолога с человеком. Ее целесообразно рассматривать как инструмент повышения доступности, оперативности и непрерывности психологического сопровождения. Особенно перспективным представляется сочетание очной работы в зоне чрезвычайной ситуации с последующим дистанционным сопровождением специалистов.

Практическая модель модернизации

На основании проведенного анализа предлагается следующая организационно-функциональная модель психологического обеспечения специалистов при железнодорожных ЧС.

Таблица 1

Модель психологического обеспечения специалистов при ж/д ЧС

Этап	Основная задача	Основные мероприятия
Подготовительный	формирование психологической готовности	диагностика, тренинги, моделирование ЧС, обучение саморегуляции
Оперативный	поддержание работоспособности	экспресс-оценка, психологическая стабилизация, помощь руководителям, сопровождение групп
Постэкспозиционный	выявление негативных последствий	психологический скрининг, индивидуальные беседы, оценка динамики состояния
Восстановительный	возвращение к устойчивой профессиональной деятельности	коррекционные мероприятия, консультирование, профилактические программы
Аналитический	совершенствование системы	анализ опыта, выявление факторов риска, корректировка программ подготовки

Принципиально важным является то, что указанные этапы должны этапе ликвидации ЧС, должна использоваться при последующем сопровождении специалиста, а результаты постэкспозиционной работы – при корректировке программ психологической подготовки.

Таким образом, создается замкнутый цикл: подготовка → реагирование → оценка → восстановление → анализ → совершенствование подготовки.

Для оценки эффективности предлагаемой модели целесообразно использовать совокупность организационных, психологических и профессиональных показателей, что позволит уйти от оценки ЦЭПП исходя из количества проведенных мероприятий к оценке качества обеспечения психологической помощи.

Заключение

Психологическая помощь специалистам, занятым в ликвидации последствий ЧС на ж/д транспорте является важным звеном в общей системе безопасности данной отрасли. С учетом того, что при железнодорожной ЧС могут пострадать как пассажиры, граждане, оказавшиеся рядом с местом ЧС, а также и спасатели, привлекаемые к ликвидации последствий ЧС, то необходимо перейти к комплексной модели психологического обеспечения населения, которая должны включать в себя 4 этапа – подготовительный, оперативный, постэкспозиционный, восстановительный.

Данный модель должна включать моделирование всевозможных сценариев ЧС на ж/д транспорте и последующее расширение системы ЦЭПП МЧС РФ, предварительное включение

психологов в оперативную группировку вместе с железнодорожным персоналом, системный анализ состояния привлекавшихся к ликвидации последствий ЧС спасателей и пострадавшего персонала, модернизация цифровых возможностей для мониторинга и дистанционного взаимодействия, внедрение единых критериев для оценки эффективности психологической службы и совершенствование системы межведомственной работы и подготовки работников как ж/д транспорта, так и службы психологической помощи.

Таким образом, модернизация психологического обеспечения должна быть направлена не только на устранение уже возникших негативных психологических последствий, но прежде всего на формирование устойчивой системы предупреждения профессиональной дезадаптации, сохранения работоспособности и обеспечения эффективного взаимодействия специалистов в условиях чрезвычайной ситуации.

Практическая значимость предлагаемого подхода заключается в возможности его использования при разработке программ психологической подготовки специалистов МЧС России, алгоритмов межведомственного взаимодействия и локальных программ психологического сопровождения персонала железнодорожного транспорта.

Перспективным направлением дальнейших исследований является экспериментальная проверка эффективности предложенной модели на основе психодиагностического мониторинга специалистов, участвующих в учебно-тренировочных мероприятиях и ликвидации реальных чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королева А.М. Оценка факторов, влияющих на трудовую деятельность работников пассажирского железнодорожного комплекса / А.М. Королева, О.В. Плицына, Е.Ю. Нарусова // Студент. Аспирант. Исследователь. 2018. № 5 (35). – С. 342–348.
2. Поташева Ю.Л. Психологическое сопровождение деятельности проводников пассажирских вагонов / Ю.Л. Поташева, В.А. Каратерзи // Наука – образованию, производству, экономике: сборник материалов XXIV (71) Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов: в 2 т. / под редакцией И.М. Прищепа [и др.]. – Витебск: Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, 2019. Т. 2. – С. 23–24.
3. Псарева О.А. Предпосылки формирования негативных функциональных состояний трудовой деятельности у проводников пассажирских вагонов / О.А. Псарева, Н.В. Суворова // Молодежь Сибири – науке России: сборник материалов Международной научно-практической конференции / под редакцией В.Ф. Забуга. – Красноярск: Сибирский институт бизнеса, управления и психологии, 2016. – С. 315–317.
4. Кедич С.И. Тренинг командообразования для коррекции межличностных отношений в коллективе проводников пассажирских вагонов / С.И. Кедич, Д.М. Лысакова // Пространства адаптивного интеллекта: Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 31 мая 2025 года. – СПб: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2025. – С. 220–225.
5. Итоги деятельности психологической службы МЧС России за 2025 год: [электронный ресурс] // Интернет-служба экстренной психологической помощи МЧС России. – URL: <https://psi.mchs.gov.ru/press-centr/sobitia/4227894> (дата обращения: 10.07.2026).