

ISSN 2313-4372

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*ВЫПУСК 7*

---

# Т Р У Д Ы

## Поволжского государственного технологического университета

---

Серия Технологическая



Йошкар-Ола  
2019

УДК 62  
ББК 3  
Т 78

**Ответственный и научный редактор сборника**

проректор ПГТУ по научной работе, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, доктор физико-математических наук *Д. В. Иванов*

**Редакционная коллегия серии:**

*Алибеков С. Я.*, доктор технических наук, профессор  
*Грунин Ю. Б.*, доктор химических наук, профессор  
*Иванов В. А.*, доктор физико-математических наук, профессор  
*Минаков Ю. М.*, доктор технических наук, профессор  
*Роженцов А. А.*, доктор технических наук, профессор  
*Романов Е. М.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
*Рябова Н. В.*, доктор физико-математических наук, профессор  
*Сидоркина И. Г.*, доктор технических наук, профессор

**Труды Поволжского государственного технологи-  
Т 78 ческого университета.** Сер.: Технологическая. Вып. 7  
[Текст] / отв. и науч. ред. Д. В. Иванов. – Йошкар-Ола:  
Поволжский государственный технологический универ-  
ситет, 2019. – 204 с.

В ежегодном периодическом издании представлены статьи ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов и сотрудников ПГТУ, в которых рассматривается широкий круг актуальных вопросов, охватывающих различные научные направления.

УДК 62  
ББК 3

ISSN 2313-4372

© Поволжский государственный  
технологический университет, 2019

## ПРЕДИСЛОВИЕ



В условиях становления современной экономики государства на первый план выходит развитие и совершенствование науки и образования в высших учебных заведениях. Современные рыночные отношения диктуют необходимость опережающего развития инновационного и научно-технического сектора национальной и региональной экономики. Поволжский государственный технологический университет, обладая достойной образовательной, научной и инновационной ба-

зой, является перспективной площадкой для создания и продвижения высокотехнологичной, инновационной продукции и технологий.

Подводя итоги работы научного сектора вуза, необходимо отметить, что продолжает оставаться высоким объем финансирования научно-исследовательских работ университета, составивший в 2018 году более 130 млн руб. Работы выполнялись в рамках государственного задания Минобрнауки Российской Федерации, Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», по грантам РФФИ, по грантам и договорам с предприятиями и организациями России, Республики Марий Эл и дальнего зарубежья.

За прошедший год университетом подана 81 заявка на объекты интеллектуальной собственности, в том числе 20 заявок на программы для ЭВМ и базы данных, 17 заявок на полезную модель и 44 заявки на изобретения. Было получено 93 охранных документа, в том числе 58 патентов на изобретения и полезные модели РФ, 35 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных, среди которых 79 охранных документов на объекты интеллектуальной собственности получены в соавторстве с обучающимися. Продолжается работа регионального представительства организации Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов (ВОИР), в основные задачи которого входят: отбор и экспертиза инновационных проектов, организационная работа по участию в выставочных мероприятиях, пропаганде изобретательской и инновационной деятельности среди обучающихся и молодых ученых.

На высоком уровне находится публикационная активность ученых университета, в частности планомерно повышается число публикаций в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus. В начале 2019 года пятый научный журнал вуза – «Вестник ПГТУ. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии» – был включен в Перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Продолжается плодотворное сотрудничество Волгатека с ведущими отечественными и зарубежными выставочными площадками: это Международный военно-технический форум «Армия-2019», г. Кубинка; XXI Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед-2019», г. Москва; XIV Международный салон инноваций и изобретений «Новое время», г. Севастополь; Международная выставка «Импортозамещение-2018», г. Москва; Международная выставка «ЕхроBerlin», Германия; 62 International Fair of Technics and Technical Achievements, Белград, Сербия; Международная выставка изобретений и дизайна «ИДС 2018», г. Гонконг, Китай; Taiwan Innotech Eхро, г. Тайбэй, Китайская Республика.

Не снижается активность участия студентов, аспирантов и молодых ученых университета в конкурсе грантов по программе «УМНИК» Фонда содействию инновациям, в 2018 году на участие в нем было подано 100 заявок. За весь период проведения конкурса признаны победителями более 240 проектов студентов, аспирантов и молодых ученых Волгатека.

Своеобразной визитной карточкой университета является ежегодный сборник научных статей «Труды Поволжского государственного технологического университета», где отражены основные научные достижения ученых и преподавателей вуза, представленные на научной конференции «Исследования. Технологии. Инновации».

В предлагаемом вниманию читателя седьмом выпуске сборника статей «Труды ПГТУ» изложены результаты научно-исследовательской деятельности профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и сотрудников вуза за 2018 год.

Сборник традиционно состоит из двух серий: технологической и социально-экономической. Данная серия сборника – Технологическая. В ней представлены статьи по следующим направлениям научных исследований:

- лес, экология и природопользование;
- радиотехнические, инфокоммуникационные и медико-биологические системы;
- информационные технологии и системы;
- строительство и архитектура;
- биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды.

***Д. В. Иванов**  
проректор ПГТУ по научной работе,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук,  
ответственный и научный редактор сборника*

# ЛЕС. ЭКОЛОГИЯ. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 630\*9

## МНОГОЦЕЛЕВОЕ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

*Власова Наталия Александровна<sup>1</sup>, Шургин Алексей Иванович<sup>2</sup>,  
Рыбаков Дмитрий Вениаминович<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

<sup>2</sup>Министерство лесного хозяйства Кировской области, г. Киров

<sup>3</sup>ООО «МУК«Система», г. Йошкар-Ола

VlasovaNA@volgatech.net

*В статье рассмотрены основные законодательные барьеры, препятствующие многоцелевому использованию лесов при совместном использовании одного лесного участка двумя и более арендаторами. Выявлены организационные противоречия при двойной аренде лесных участков. Рассмотрены совместимые виды использования одного лесного участка. Разработаны предложения по улучшению сложившейся ситуации.*

**Ключевые слова:** многоцелевое лесопользование, двойная аренда, лесной участок, лесное законодательство, виды использования лесов, экономико-организационные противоречия

**Введение.** Современное лесное законодательство ориентировано на повышение доходности лесов при соблюдении непрерывности, рациональности и устойчивости их использования. При этом утверждается важнейший принцип многообразия форм лесопользования [1].

Данная возможность, предусмотренная правовым полем, должна обеспечить максимальные поступления платежей за использование лесных ресурсов в бюджетную систему Российской Федерации и создание условий для реального сектора экономики по ведению хозяйственной деятельности на землях лесного фонда (создание новых рабочих мест и получение прибыли) [4].

Тем не менее, практика показывает, что в существующих правовых отношениях, связанных с многоцелевым лесопользованием, имеется ряд дискуссионных вопросов.

Об актуальности темы свидетельствуют ряд публикаций [1-3, 5] и проведенные в Государственной Думе в сентябре 2018 года парламентские слушания «Проблемы и перспективы законодательного регулирования многоцелевого использования лесных ресурсов», участники которых отметили важность эффективного лесопользования [6].

**Цель исследования** – выявление основных теоретических и практических проблем, связанных с применением норм права при аренде лесных участков для одной или нескольких целей использования лесов двумя и более арендаторами (пользователями).

**Решаемые задачи:** анализ нормативно-правовых документов, регулирующих использование лесов для многоцелевого лесопользования, судебной практики; оценка сочетаемости различных видов использования лесов на одном лесном участке.

**Материал и методика исследования.** В рамках исследования осуществлено следующее:

- проведены беседы с сотрудниками Министерства природных ресурсов, экологии и охраны окружающей среды Республики Марий Эл, беседы с арендаторами лесных участков;
- проанализированы материалы отраслевых министерств и ведомств, организаций, работающих в сфере лесного хозяйства, тематические Интернет-ресурсы;
- изучены труды отечественных и зарубежных ученых в области многоцелевого использования лесов, нормативно-правовые акты Российской Федерации, отражающие правовые, организационно-экономические условия и стандарты регулирования различных видов лесопользования в системе лесного хозяйства.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В процессе анализа нормативно-правового обеспечения в области многоцелевого использования лесов был выявлен ряд противоречий и проблем, связанных с применением норм права.

Одной из таких проблем является возможность предоставления одного и того же лесного участка в аренду двум и более арендаторам для осуществления двух и более видов лесопользования.

В статье 25 ч 1. Лесного кодекса РФ (ЛК РФ) перечислены возможные виды использования лесов. В ч. 2 сказано: «Леса могут использоваться для одной или нескольких целей, предусмотренных частью 1 настоящей статьи, если иное не установлено настоящим Кодексом, другими федеральными законами». Часть 3 гласит: «Использование лесов, представляющее собой предпринимательскую деятельность, осуществляется на землях лесного фонда лицами, зарегистрированными в Российской Федерации в соответствии с Федеральным законом от 8 августа 2001 года № 129-ФЗ «О государственной регистрации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей».

При этом процедура реализации нормы о многоцелевом использовании лесов лесным законодательством не предусмотрена. При ее практическом применении это вызывает множество споров между арендаторами и арендодателями в лице органов государственной власти, так как законом точно не определено, возможно ли одновременное использование одного лесного участка разными арендаторами [5].

Нормы §1 главы 34 Гражданского кодекса РФ (ГК РФ) содержат правила об использовании арендованного имущества лишь на правах субаренды и не предусматривают пользование имуществом несколькими арендаторами. Поэтому и пользование лесными участками для одной или нескольких целей (ч. 2 ст. 25 ЛК РФ) не означает возможность использования таких участков несколькими арендаторами. Согласно ст. 71 ЛК РФ, к договору аренды лесного участка применяются положения об аренде, предусмотренные ГК РФ, если иное не установлено ЛК РФ. Из буквального толкования

п. 1 ст. 72 ЛК РФ следует, что лесной участок для одной или нескольких целей может быть предоставлен только одному арендатору.

В последнее время (после 2010 года) спорные судебные дела о возможности предоставления одного лесного участка разным арендаторам разрешаются со ссылкой на Постановление Высшего Арбитражного Суда РФ (ВАС РФ) от 27.07.2010 № 2111/10. Коллегия судей ВАС РФ опровергла в своем определении утверждение трех предыдущих судебных инстанций, работавших по делу, о том, что ЛК РФ не предусматривает возможности передачи одного и того же участка для разных видов пользования разным арендаторам. И уточнила, что прямой запрет на многоцелевое использование лесных ресурсов разными арендаторами в ЛК РФ отсутствует.

Из описанного выше вытекает следующий вопрос: «Какие виды использования лесов, закрепленные статьей 25 ч 1. Лесного кодекса РФ, допустимы на одном участке леса?».

Лесной кодекс определяет 16 видов использования лесов, предусматривает многоцелевое лесопользование, но не устанавливает критерии совместимости различных видов на одном участке.

В представленной ниже таблице проведена оценка сочетаемости различных видов использования лесов на одном лесном участке. Знаком «х» отмечены те или иные противоречия, либо встречающиеся на практике, либо теоретически возможные, по мнению авторов.

Так, по наиболее востребованному виду пользования – заготовке древесины – возникают противоречия с заготовкой живицы, ввиду того что после заготовки живицы снижается выход и качество древесины.

Заготовка древесины и осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства вполне допустимы на одном лесном участке, и в Республике Марий Эл есть такие примеры. В ряде случаев возникают экономико-организационные противоречия между пользователями, связанные с проведением мероприятий по охране лесов от пожаров (создание и содержание противопожарных разрывов), прочисткой просек и дорог, проведением мероприятий, связанных с охраной животного мира (размещение искусственных гнездовий для птиц).

Определенные ограничения в виде закрытия ресурсов (древесины) накладываются за счет особо защитных участков лесов (ОЗУ) вокруг глухариних токов. В Марий Эл их площадь составляет 10914,2 га.

Ведение сельского хозяйства (пчеловодство) накладывает ограничение на лесозаготовителей через ОЗУ. Согласно действующей Лесоустроительной инструкции, в ОЗУ выделяются приспевающие, спелые и перестойные лесные насаждения с преобладанием липы и акации белой в радиусе трех километров вокруг постоянных пазек. Так, по Республике Марий Эл площадь ОЗУ по нектароносной липе составляет 6248,9 га.

Сомнительны совместимость заготовки древесины и осуществление рекреационной деятельности, так как при сплошных рубках значительно снижается эстетическая ценность лесных участков. Наличие лесозаготовительной техники снижает комфортность пребывания граждан на природе ввиду шума и наличия опасности для жизни в виде движущихся механизмов и срубаемых деревьев.

## Сочетаемость различных видов лесопользования

Вид использования лесов	Заготовка древесины	Заготовка живицы	Осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства
Заготовка древесины		х	х
Заготовка живицы	х		
Заготовка и сбор недревесных лесных ресурсов			
Заготовка пищевых лесных ресурсов и сбор лекарственных растений			
Осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства	х		
Ведение сельского хозяйства	х		
Осуществление научно-исследовательской и образовательной деятельности			
Осуществление рекреационной деятельности	х		х
Создание лесных плантаций и их эксплуатация			х
Выращивание лесных плодовых, ягодных, декоративных растений, лекарственных растений			х
Выращивание посадочного материала лесных растений (саженцев, сеянцев)			х
Выполнение работ по геологическому изучению недр, разработка месторождений полезных ископаемых	х		
Строительство и эксплуатация водохранилищ и иных искусственных водных объектов, а также гидротехнических сооружений, морских портов, морских терминалов, речных портов, причалов			
Строительство, реконструкция, эксплуатация линейных объектов	х		
Переработка древесины и иных лесных ресурсов			
Осуществление религиозной деятельности	х		х

Выполнение работ по геологическому изучению недр, разработка месторождений полезных ископаемых в отдельных случаях совместимы с заготовкой древесины. В других (в частности, разливы нефти при ее добыче) – могут оказывать негативное воздействие на ход возобновления леса, а также служить дополнительным источником пожарной опасности.

При одновременном использовании лесного участка для заготовки древесины и религиозной деятельности также может возникнуть конфликт интересов, аналогичный сочетанию заготовки и рекреационного использования, а кроме того, под лесосеку может оказаться отведен участок «священной рощи».

Осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства не сочетается с такими видами, как создание лесных плантаций и их эксплуатация, выращивание лесных плодовых, ягодных, декоративных растений, лекарственных растений, выращивание посадочного материала лесных растений (саженцев, сеянцев) по причине порчи и употребления в пищу последних животными – объектами охоты.

Также малосовместимым представляется одновременное использование лесного участка для ведения охотничьего хозяйства, рекреации и осуществления религиозной деятельности по причине снижения безопасности пребывания там отдыхающих или людей, отправляющих религиозные ритуалы.

Несовместимость использования лесов в тех или иных целях может вытекать напрямую из ограничений, предусмотренных ЛК РФ или федеральными законами. От-

дельные виды использования лесов сокращаются либо запрещаются на территориях с ограниченным режимом осуществления хозяйственной деятельности: защитных лесах и ОЗУ, особо охраняемых природных территориях, водоохраных зонах (ст. ст. 102-107 ЛК РФ, ст. 65 Водного кодекса РФ, положения Федерального закона от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (с изм. от 23 июня 2014 г.) и др. Однако иногда закон не фиксирует ограничения для использования лесов, но на практике один вид использования делает невозможным использование леса для других целей.

О. Я. Глибко [2] отмечает: «На практике вопрос о совместимости разных видов использования лесов возникает практически при каждом предоставлении лесных участков в пользование разным лицам. Типична ситуация, когда арендатор-лесозаготовитель препятствует недропользователю в оформлении арендных прав».

Таким образом, учитывая все вышеописанное, приходится констатировать, что Лесной кодекс, открывая одни виды пользования, блокирует другие.

Вследствие этого ресурс не входит в экономику и происходит «недополучение» налоговых отчислений в бюджеты всех уровней.

**Выводы.** Проведенный анализ законодательной и судебной практики показал, что в настоящее время есть ряд проблем и противоречий, касающихся многоцелевого лесопользования.

Несмотря на заложенную в лесном законодательстве возможность предоставления лесных участков в аренду для одной или нескольких целей, ни в одном из нормативно-правовых актов не прописан механизм их совмещения на арендуемом участке.

Нормативно не закреплены допустимые виды совместного использования лесов разными арендаторами на одном лесном участке.

В законодательной базе отсутствует порядок оценки залоговой стоимости лесных ресурсов на лесном, участке, переданном в аренду.

Отсутствуют прозрачные схемы уступки права аренды земельного участка.

Из-за проблем, связанных с двойной арендой лесных участков:

- возникает конфликт интересов между участниками лесных отношений;
- ряд лесных ресурсов не входит в экономику;
- происходит «недополучение» налоговых отчислений в бюджеты всех уровней.

По предварительным экономическим расчетам около 40 % дохода от лесного хозяйства в Республике Марий Эл теряется из-за отсутствия механизмов правового регулирования многоцелевого использования лесов.

Принятие нового Федерального закона от 18.12.2018 № 471-ФЗ «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования порядка предоставления лесных участков в безвозмездное пользование» частично снимает обозначенные в данном исследовании вопросы, связанные с совместимостью нескольких видов пользования на одном лесном участке.

**Рекомендации.** Для решения противоречий, выявленных в процессе анализа нормативно-правовой документации и научных публикаций по данной теме, мы предлагаем следующее:

- закрепить процедуру реализации нормы о многоцелевом использовании лесов в подзаконных актах;
- установить критерии совместимости различных целей пользования одним лесным участком разными арендаторами;
- определить порядок регистрации двойной аренды лесного участка в Росреестре;
- при заключении договора аренды на лесной участок для одного вида использования лесов определять другие, потенциально возможные виды пользования и уведомлять о них потенциального арендатора.

Таким образом, требуется изменение действующей нормативно-правовой базы в части регулирования многоцелевого использования лесов.

#### *Список литературы*

1. Большаков Н. М., Иваницкая И. И., Белозёрова Н. В. Новый подход к лесопользованию // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 36 [Электронный ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/novyy-podhod-k-lesopolzovaniyu-1> (дата обращения 26.12.2016).
2. Глибко О. Я. Проблема двойной аренды земельных участков в законодательстве России [Электронный ресурс]. URL: <http://отрасли-права.пф/article/10180> (дата обращения 26.12.2018).
3. Мельникова Ю. В. Проблемы теории и судебной практики о многоцелевом использовании лесных участков // Российский судья. 2011. № 10.
4. Рыбаков Д. В. Возможности и практика многоцелевого использования лесов на примере Республики Марий Эл // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола, 20-21 апреля 2018 г.): в 4 ч. / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. Ч. 3. С. 105-107.
5. Стебелькова Н. А. Законодательные барьеры многоцелевого лесопользования // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2017. № 20(20) [Электронный ресурс]. URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/20/28321> (дата обращения 06.01.2019).
6. Эксперты: парламентские слушания определили приоритетные направления в лесном праве [Электронный ресурс]. URL: <http://duma.gov.ru/news/28113/>

#### **MULTI-PURPOSE USE OF FOREST: PROBLEMS AND SOLUTIONS**

*Vlasova Nataliia Alexandrovna<sup>1</sup>, Shurgin Alexei Ivanovich<sup>2</sup>,  
Rybakov Dmitry Veniaminovich<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,

<sup>2</sup>Ministry of Forestry of the Kirov Region, Kirov,

<sup>3</sup>“MUK Sistema” LLC, Yoshkar-Ola

*The article discusses the main legislative barriers to the multipurpose use of forest when two or more tenants share the same forest area. Organizational contradictions are highlighted in the case of double lease of forest areas. The compatible uses of one forest area are considered. There are suggestions for improving the current situation.*

**Keywords:** *multi-purpose use of forest, double rent, forest area, forest legislation, economic and organizational contradictions*

## СМЕНА СОСНЫ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

*Денисов Сергей Александрович, Конюхова Татьяна Анатольевна,  
Домрачева Зульфия Назимовна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
DenisovSA@volgatech.net

*На основании обзора и анализа существующих публикаций и исследований в области лесного хозяйства и лесной экологии сделана оценка сукцессии древесных пород для ведения лесного хозяйства. Обоснован вывод о преимуществах смешанных древостоев.*

**Ключевые слова:** *лесные сукцессии, сосна, естественное возобновление леса, молодняки, состав древостоев.*

**Введение.** Смена хвойных пород на лиственные с зарождения научного лесоводства считалась нежелательной. Однако экологические подходы к этому явлению говорят об обратном: лесные сукцессии необходимы для поддержания плодородия почв, продуктивности древостоев, выполнения экологических функций [1-4]. Так, древостои сосны обыкновенной, в силу её лесоводственных свойств, занимают, как правило, песчаные долины и песчаные аллювиальные отложения, которых в лесной зоне много. Сосна является популярной древесной породой, и лесным хозяйством хорошо разработаны и освоены технологии создания её лесных культур (за рубежом принято называть их плантациями).

Таким образом, природные условия и антропогенный фактор определяют широкое распространение сосняков в европейской части России. Так, по данным Лесных планов, в лесостепной зоне сосновые насаждения занимают около трети площадей лесного фонда (Липецкая – 32 %, Воронежская – 30,4, Пензенская – 31,4 %, Тамбовская области – 40,9 %). В зоне хвойно-широколиственных лесов сосняки составляют: в Республике Марий Эл – 35,9 %, в Нижегородской области – 32,3 %, в Кировской области – 21,4 %. История динамики лесного фонда РМЭ свидетельствует, что в 1900 году доля сосны была здесь более 60 %. Последующие крупные пожары и заготовка древесины концентрированными рубками вплоть до 1960-х годов привели к снижению доли сосны в лесном фонде. Надо отметить, что доля спелых сосняков в это время была весьма значительной [5]. Каким образом они формировались в условиях, когда лесохозяйственное воздействие на леса было несравнимо меньшее по отношению к настоящему времени?

Многочисленные публикации по изучению естественного возобновления древесных пород (и, в частности) сосны, на первых этапах формирования молодняков на гарях и вырубках показывают, что этот процесс идёт далеко не всегда с доминированием главной породы. Однако в большинстве работ оценка дальнейшего хода развития молодняков завершается констатацией факта преобладания лиственных пород (берёзы и

осины) по численности, более интенсивного их роста и, как следствие, вывода о вытеснении сосны из состава древостоя [6, 7]. Состав древостоев в условиях свежих боров, например, показывает, что здесь практически всегда участвует берёза повислая, порой создающая сосне конкуренцию на начальном этапе формирования древостоев [8, 9].

**Цель работы** – оценка смены пород в современном лесном хозяйстве и лесной экологии.

**Объекты и методы исследования.** Объектом является лесное хозяйство и лесной фонд, претерпевающий изменения в связи с явлениями экзогенного характера.

В ходе исследования проведён анализ публикаций, посвященных изучению роли смены состава растительности, происходящей в результате пожаров и вырубок, ее влияния на породный состав древостоев к возрасту спелости. Оценка смен пород с точки зрения системного подхода выполнена в отношении естественного возобновления леса, почв, пирогенной обстановки, динамики состава постпирогенных молодняков, устойчивости и продуктивности древостоев.

**Обсуждение результатов исследования.** Неблагоприятной сменой пород следует считать смены, в результате которых состав древостоев кардинально меняется со снижением товарности, производительности, стоимости древесины, экологических функций.

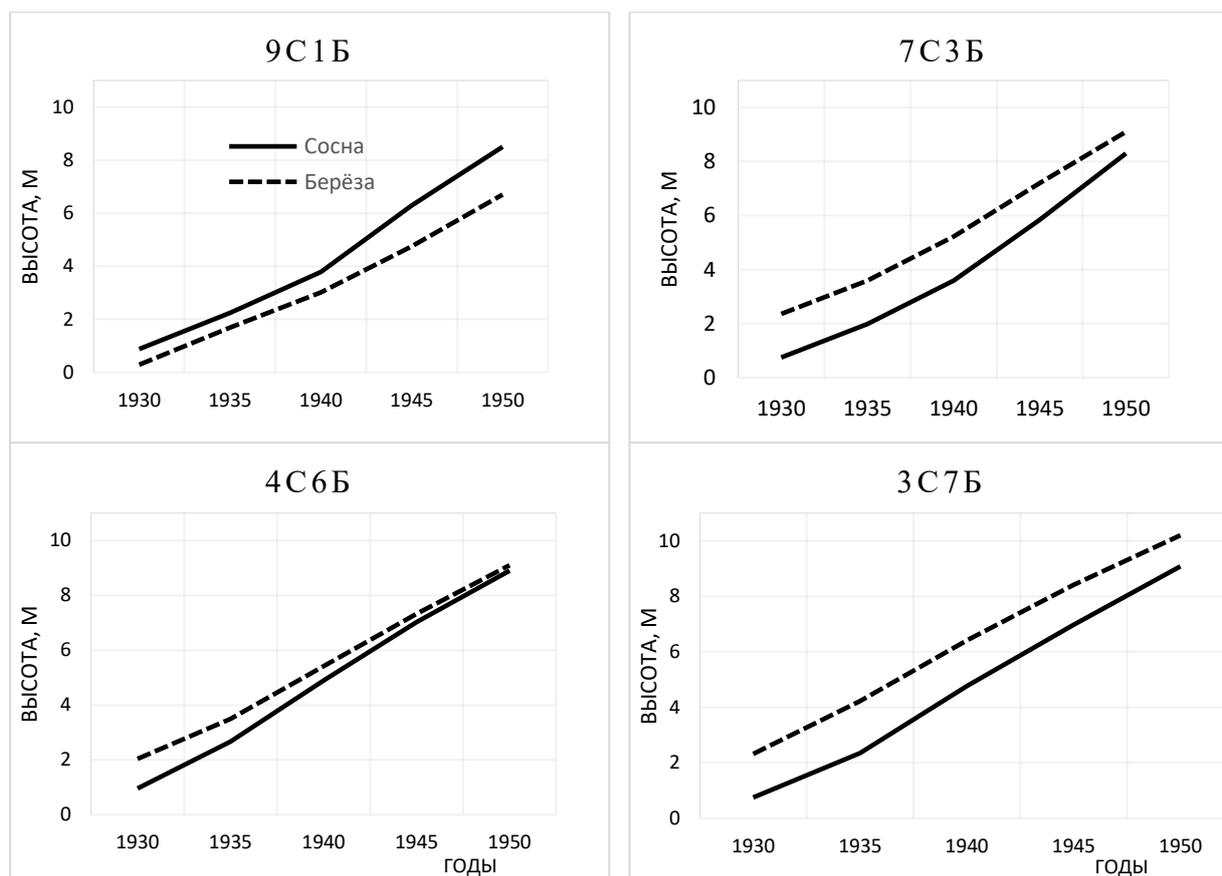
По данным Л. И. Яшнова, М. В. Колпикова, А. П. Петрова, гари 1921 года в Марийской автономной области заселялись берёзой и сосной. Восстановление на них происходило по-разному. И не только по причине вида пожара и его интенсивности, разных почвенных условий, но и по тому, как и каким образом вырубались там горелые древостои.

По свидетельству Л. И. Яшнова, горельники, полностью вырубленные вскоре после пожаров на больших площадях, возобновились сосной на небольших участках и, главным образом, узкой каймой шириной около 100 м вдоль стен растущего леса. Но там, где ликвидация повреждённого огнём леса велась в основном за счёт сухостоя и валежа и с оставлением подгоревших, но живых сосновых деревьев – обсеменение сосной произошло успешно.

То же самое наблюдалось спустя 50 лет на гарях 1972 года. В монографии К. К. Калинина [10] отмечается: «Учёт подроста на четвёртый год после пожара 1972 года в повреждённых огнём сосновых насаждениях показал, что почти на всех обследованных участках неразработанных гарей после пожара наблюдалось успешное естественное возобновление материнской породой – сосной, а также лиственными – берёзой и осинкой. Лишь в сосняках лишайниковых, пройденных слабым низовым пожаром, и брусничных, повреждённых верховым пожаром, возобновление было недостаточным или практически отсутствовало» [10, с. 121]. Недостаточное количество подроста сосны при беглых верховых пожарах К. К. Калинин объясняет потерей всхожести семян за счёт высоких температур в кронах. На гарях 1921 такое явление наблюдал А. П. Петров.

Результаты обследования нами гарей 2010 года показали, что сценарий возобновления сосны неизменно повторяется.

Формирование молодняков на сосновых гарях 1921 года при отсутствии уходов связано с ходом роста в высоту сосны и берёзы (см. рисунок). При одновременном поселении сосны и берёзы на гарях при преобладании в составе сосны (9С1Б) сосна, безусловно, доминирует, тогда как уже при составе 7С3Б сосна догоняет берёзу к возрасту 30 лет. При доле сосны в составе менее 5 единиц, сосна также догоняет берёзу к этому возрасту [11].



Ход роста сосны и берёзы на гарях 1921 года. Интерпретация данных источника [11]

Аналогично процесс формирования молодняков происходил и на гарях 1972 года. «На 9-летних гарях в брусничных и 16-летних гарях в черничном типе леса борového ряда, незатенённая сосна сравнивается по высоте с лиственными и отстаёт в росте лишь от порослевой берёзы» [10, с. 244]. Лиственные, оказавшись под пологом сосны, быстро утрачивают своё доминирование и элиминируются. Сосна достаточно быстро увеличивает своё участие в составе древостоев.

Таким образом, результаты наблюдений за формированием молодняков на крупных гарях 1921 и 1972 годов показали такие же закономерности. Вероятнее всего, то же самое можно будет наблюдать и в молодняках, формирующихся на гарях 2010 года.

Восстановление гарей сосновых древостоев, в силу пиропитности сосны, происходит при естественном ходе событий после низовых пожаров, как правило, успешно. Проблемы отсутствия возобновления связаны в первую очередь с быстрой вырубкой

древостоев, повреждённых пожаром. В этом случае происходит полная потеря семян, что в дальнейшем приводит к необходимости искусственного восстановления лесов на гарях.

Естественное возобновление сосны и лиственных на гарях приводит к формированию смешанных молодняков. С точки зрения таёжных лесоводов [12], смешанный состав древостоев обеспечивает лучшее использование почвенных и климатических ресурсов. Огневая мелиорация на вырубках (огневая очистка лесосек) может способствовать восстановлению высокопродуктивных сосняков. Это, по мнению О. А. Неволлина, С. В. Третьякова и О. О. Ерёминой, будет гарантией быстрого естественного восстановления высокопродуктивных сосняков при наименьших затратах сил и денежных средств [12, с. 14].

Смена сосны на лиственные – понятие довольно условное. При участии хвойных в составе древостоя в 4 и менее единиц таксаторы относят его к лиственным насаждениям с примесью хвойных даже тогда, когда в древостоях достаточно деревьев для формирования в будущем хвойных насаждений. Так, в условиях боров сосна к возрасту спелости чаще всего становится преобладающей даже без проведения лесоводственных уходов. Такая «условная смена» имеет свои преимущества, позволяющая уменьшать пожарную опасность. Вероятность интенсивного распространения огня, в случае пожара, снижается, несмотря на то, что класс природной пожарной опасности остаётся первым.

Кроме снижения пожарной опасности, преобладающее наличие лиственных древостоев в течение первых 40 лет приводит к благоприятным изменениям почв, что подтверждается многими исследователями, изучающими почвенное плодородие в связи с растительными сукцессиями [1-4]. Отмечено, что сосна, произрастающая в течение 15 лет на богатых темно-серых лесных почвах, начинает снижать почвенное плодородие, а после 45 лет состояние этих почв ухудшается и в количественном, и в качественном отношении [13].

Смешанный состав молодняков благоприятен для ускорения разложения подстилки, которая является лесным горючим материалом. Во влажном климате этот процесс идёт достаточно быстро, тем самым не приводя к быстрому накоплению ЛГМ. Смешанный состав древостоев позволяет полнее использовать экологический потенциал лесорастительных условий, что повышает общую продуктивность лесов.

Следует оценивать смешанный состав древостоев и с точки зрения здоровья лесов. Здесь (в силу только дискретности кормовой базы) меньше распространены болезни, вредители, более разнообразна фауна, что в целом обеспечивает хорошее санитарное состояние насаждений.

Экономическая оценка выращивания смешанных древостоев к возрасту спелости в силу слабой оценки этого вопроса лесными экономистами может быть дана только ориентировочно: это снижение затрат на лесовосстановление, защиту и охрану леса, увеличенный ассортимент древесины, повышение продуктивности лесов, усиление экологических функций лесов.

**Заключение.** Смена пород в лесном хозяйстве до сих пор оценивается как отрицательное явление, приводящее к потере доходности от использования древесины. Однако стоит иначе подходить к естественным процессам в природе леса с экологических позиций и системного подхода к сукцессионным процессам на площадях гарей и вырубок.

Не следует ориентироваться при планировании лесохозяйственных мероприятий только на состав древостоя, поскольку надо учитывать численность и состояние сосны, достаточную для формирования при рубках ухода, смешанных древостоев с преобладанием главной породы. Так, сосновые насаждения в борových условиях, пройденные пожарами, восстанавливаются естественным путём на протяжении 40...60 лет, проходя на пути своего формирования ряд совместного с лиственными породами фаз развития.

Смешанный состав молодняков имеет преимущества перед чистыми, оказывая существенное влияние на почвенное плодородие. Участие сосны в составе таких древостоев в количестве, достаточном для дальнейшего формирования сосняков, позволяет увеличить продуктивность древостоев. Весьма существенное значение имеет смешанный состав в молодняках для снижения опасности перехода низового пожара в верховой. Сосна к началу III класса возраста уже доминирует в составе и формирует древостой с хорошо очищенными от нижних ветвей стволами. Сравнительно быстрое разложение подстилки в смешанных древостоях снижает опасность средних и интенсивных низовых пожаров, которые приводят к гибели древостои до конца II класса возраста. В смешанных древостоях больше биоразнообразия, что обеспечивает меньшее распространение вредителей и болезней.

Оценка естественного возобновления на гарях и рубках не должна основываться только на факте преобладания лиственных пород. Дальнейшая динамика параметров таких молодняков и средневозрастных насаждений требует изучения, поскольку сценарии развития лесовосстановления на крупных гарях прошлого во многом совпадают. Выявленные демулационные линии развития постпирогенных насаждений при использовании их в практике лесного хозяйства позволят обеспечить снижение затрат и одновременно повысить устойчивость лесов.

#### *Список литературы*

1. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / под ред. чл.-корр. РАН Н. В. Лукиной. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 232 с.
2. Влияние лиственных лесных насаждений на физические свойства почв / И. Т. Трофимов, Ю. В. Беховых, А. Г. Болотов и др. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (111). С. 34-39.
3. Роль биологического фактора в процессе формирования почвы в таежной зоне / И. Б. Арчегова, А. Н. Панюков, Е. Г. Кузнецова и др. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2016. № 2. С. 127-139.
4. Тарасов П. А. Оценка влияния смены сосны берёзой на свойства почв в условиях Приангарья // Лесной журнал. 2012. № 2. С. 14-19.
5. Тарасенко В. П. Динамика лесистости и породного состава лесов Европейской части СССР и лесовосстановление. М.: ЦБНТИ Гос. Ком. лесн. хоз-ва СМ СССР, 1972. 52 с.

6. Гордей Н. В., Тегленков Е. А. Исследование постпирогенных лесовозобновительных процессов в сосновых насаждениях // Труды БГТУ. Минск: БГТУ, 2015. № 1(174). С. 54-57.
7. Калинин К. К. Закономерности естественного лесовозобновления в сосновых насаждениях на крупных гарях Среднего Заволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 3. С. 29-42.
8. Калинин К. К., Иванов А. В. Особенности формирования молодняков в повреждённых пожаром сосновых насаждениях и вырубках горельников в лесном Среднем Заволжье // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье: сб. науч. тр. / ВНИИЛМ. Москва, 1984. С. 23–34.
9. Денисов С. А., Конюхова Т. А., Рачкова Т. С. Управление лесовосстановлением на гарях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 3 (27). С. 5-17.
10. Калинин К. К. Крупные лесные пожары в лесном Среднем Заволжье и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. 364 с.
11. Денисов А. К., Александров А. А. Формирование смешанных древостоев на свежих гарях // Лесное хозяйство. 1954. № 10. С. 26-31.
12. Неволин О. А., Третьяков С. В., Ерёмкина О. О. Биологическое и хозяйственное значение сопутствующих пород в сосняках Европейского Севера России // Лесной журнал. 2003. № 3. С. 7-16.
13. Кулясова О. А. Плодородие темно-серых лесных почв под культурами сосны обыкновенной разного возраста в северной лесостепи Западной Сибири // АПК России. 2017. Т. 24, № 5. С. 1103-1110.

#### FORESTS SUCCESSIONS AND FORESTRY

*Denisov Sergey Aleksandrovich, Konukhova Tatiana Anatolyevna, Domracheva Zulfiya Nazimovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Based on a review of existing publications and research in the field of forest ecology, an assessment was made of the sequence of tree species in forestry.*

**Keywords:** *forest successions, Pine, natural reforestation, young stands, stand composition*

УДК 630\*43(470.342)

#### ГОРИМОСТЬ ЛЕСА И ЗАПАСЫ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В НАСАЖДЕНИЯХ СУВОДСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Иванов Александр Владимирович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
IvanovAV@volgatech.net

*Проанализированы горимость леса и причины возникновения количества пожаров по месяцам на территории Суводского районного лесничества за двадцатилетний период (с 1998 по 2018 год), определены запасы лесных горючих материалов в насаждениях Суводского участкового лесничества.*

**Ключевые слова:** горимость, запасы лесных горючих материалов (ЛГМ), классы пожарной опасности, опад, подстилка.

**Введение.** Каждый год, едва сойдет снег, приходит в лес страшная беда – пожары, превращающие дубравы и березовые рощи, сосновые боры и молодые посадки в черные горельники. И пройдет не один год, а десятилетия, когда произойдет полное восстановление поврежденного леса. Основной причиной возникновения пожаров является неосторожность в пользовании огнем со стороны населения, а также молнии, засушливая и ветряная погода.

Учеными Troumbis Andreas Y., Trabaud Louis [2] рассмотрены вопросы пожароустойчивости и пожароопасности лесных экосистем (ПЛЭ). Известно, что ПЛЭ зависит от количества лесных горючих материалов (ЛГМ), соотношения поверхности ЛГМ к их объему, равномерности распределения ЛГМ, а также химического состава растительности и ее архитектуры. ПЛЭ – свойство сообщества, проявляемое как результат взаимодействия между подсистемами низших уровней организации, при которых растения (живые и мертвые) рассматриваются как топливо.

Лесные пожары из экологического, природного фактора в далеком прошлом превратились в настоящее стихийное бедствие для леса в наши дни. Поэтому задача заключается в том, чтобы с помощью специальных лесохозяйственных мероприятий повысить пожароустойчивость естественных и искусственных насаждений к воздействию пожаров и тем самым до минимума сократить ущерб в случае их возникновения. Эта задача актуальна и для Суводского районного лесничества Кировской области, т.к. в его лесном фонде пожары – явление нередкое. Н. П. Курбатский [1] отмечал, что первой ступенью исследования природы лесных пожаров является изучение указанных свойств лесных горючих материалов.

**Цель работы** – провести анализ горимости лесов на территории Суводского районного лесничества и определить запасы лесных горючих материалов в наиболее встречаемых и пожароопасных типах леса на основе выборочного натурного обследования лесных участков.

**Решаемые задачи:** исследовать горимость лесов Суводского лесничества и выявить количество лесных горючих материалов в насаждениях Суводского участкового лесничества.

**Объект и методика исследования.** Леса в Суводском районном лесничестве представлены в основном хвойными насаждениями высокой пожарной опасности. Горимость лесов характеризуется количеством лесных пожаров и пройденной ими лесной площади и определяется следующими основными факторами:

- степенью природной пожарной опасности лесных площадей;
- погодными условиями и источниками огня;
- уровнем организации службы охраны лесов от пожаров.

Наиболее важным аспектом при оценке горимости лесов и проектировании лесопожарных мероприятий является распределение насаждений лесничества по классам пожарной опасности, приведенное в таблице 1.

Распределение площади земель лесного фонда по классам пожарной опасности

Лесничества	Классы пожарной опасности					Итого	Средний класс
	1	2	3	4	5		
Зашижемск	233	414	488	21	-	1198	2,3
Первомайск	165	279	821	153	-	142	2,7
Суводское	703	429	155	293	191	133	1,7
Советское	306	466	299	886	-	116	2,1
Пижанское	-	4	309	109	86	431	3,3
Мокинское	109	1487	431	263	-	7278	2,5
Итого	129	1743	250	469	277	627	2,3
%	2,4	27,8	39,0	7,5	0,4	100	

Из данных таблицы видно, что пожарная опасность лесов в целом по лесничеству достаточно высокая. Самый высокий класс пожарной опасности (1,7) относится к Суводскому участковому лесничеству. Очевидно (см. табл. 1), что в районном лесничестве преобладают насаждения 3 класса пожарной опасности и они составляют 39,9 % от площади всех лесов.

Однако следует отметить, что насаждения 1 класса имеют также большую площадь – 15297 га, что составляет 24,4 %. Эти пожароопасные территории требуют постоянного контроля во время пожароопасного сезона. Также требуются обоснованное проектирование противопожарных мероприятий и оперативное тушение во избежание неуправляемого распространения возникших на данных территориях пожаров. Средний класс пожарной опасности по лесничеству высокий и составляет 2,3. Но он был бы еще выше, если бы на это не повлияла значительная площадь насаждений, имеющих 3-4 классы пожарной опасности, однако эти насаждения имеют более высокий запас лесных горючих материалов, чем насаждения 1 и 2 классов. Отсюда следует сделать вывод, что если на территории лесничества преобладают хвойные насаждения, отнесенные к малоопасным в пожарном отношении, то эта оценка справедлива только в те годы, когда погодные условия находятся в пределах обычных климатических норм. В случае засухи пожары здесь будут во много раз опасней и вероятность их перехода в верховые намного выше, как это было в 1972 году на территории лесничеств Среднего Поволжья. Работники лесного хозяйства должны быть всегда готовы к этому и своевременно принимать необходимые меры для обеспечения сохранности лесных массивов.

**Горимость** – природная пожарная опасность, определяемая состоянием погоды и сочетанием групп типов леса, а также вырубок и других не покрытых лесом площадей на охраняемой территории, то есть состоянием горючих материалов. Для характеристики лесопирологических условий лесничества были использованы следующие показатели: данные о пожарах за последние 20 лет (табл. 2); площадь, охваченная пожаром в момент обнаружения; причины возникновения пожара.

За 1998-2018 годы было зарегистрировано 88 случаев возникновения лесных пожаров на общей площади 115,43 га. Среднегодовое число пожаров по лесничеству за прошедшие 20 лет составляет 4,4 случаев, а средняя площадь одного пожара – около 1,31 га. Наиболее напряженными в пожарном отношении были 2001, 2002, 2009 и 2010 годы.

Тогда было зарегистрировано соответственно 11, 10, 4 и 15 случаев загораний за анализируемый период. Это связано с засушливым летним периодом года и наименьшим количеством выпадения осадков. Пожары в 2015 и 2017 годах не возникали. Разброс данных по площади одного пожара объясняется различными условиями произрастания в местах возникновения пожара, наличием или отсутствием ветра, а также удалённостью места возникновения огня от средств пожаротушения.

Таблица 2

**Количество лесных пожаров по Суводскому районному лесничеству**

Год	Количество пожаров	Площадь общая, га	Площадь средняя, га
1998	6	3,68	0,61
1999	3	0,42	0,14
2000	4	2,84	0,71
2001	11	19,46	1,77
2002	10	19,68	1,97
2003	2	0,51	0,26
2004	3	1,24	0,41
2005	3	0,33	0,11
2006	5	4,55	0,91
2007	2	0,6	0,3
2008	1	0,2	0,2
2009	4	22,1	5,53
2010	15	26,0	1,73
2011	1	1,6	1,6
2012	1	0,26	0,26
2013	4	4,11	1,03
2014	2	0,43	0,21
2015	0	0	0
2016	8	19,16	2,4
2017	0	0	0
2018	3	1,47	0,49
Итого	88	115,43	1,31

Анализ распределения количества и площади пожаров по месяцам (табл. 3) позволяет определить границы пожароопасного периода. За двадцатилетний период выяснилось, что пожароопасный сезон в отдельные годы начинался в конце апреля, а заканчивался в сентябре (редко – в октябре). Это связано с окончанием схода снежного покрова в лесах и просыханием прошлогоднего живого напочвенного покрова. Количество пожаров в сентябре уменьшается, а в октябре совсем отсутствует. Это связано со снижением средней месячной температуры воздуха и увеличением количества осадков. Пик горимости по числу случаев и по площади в течение двадцати лет приходится на май (соответственно 46 % и 59 % случаев).

Таблица 3

**Распределение площадей пожаров по месяцам в целом по районному лесничеству**

Показатели	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Итого
Количество	7	40	11	15	4	7	1	88
%	8	46	13	18	5	8	2	100
Площадь	19,08	68,32	9,22	16,78	0,81	1,22	0	115,43
%	16,54	59,21	8,0	14,54	0,71	1,0		100

Периоды наибольшей горимости леса называют пожарными максимумами. Сроки наступления пожарных максимумов зависят от местных климатических и лесорастительных условий. Знание этих сроков имеет большое практическое значение, так как позволяет своевременно сосредоточить необходимые силы и средства, способные ликвидировать возникающие в лесу очаги огня. На практике следует учитывать, что погодные условия в течение года имеют отклонения от средних климатических данных, причем эти отклонения бывают и довольно значительными. Поэтому лесохозяйственные предприятия должны сохранять готовность к борьбе с лесными пожарами в течение всего пожароопасного сезона.

**Запасы лесных горючих материалов в насаждениях Суводского участкового лесничества.** Зная характеристику лесных горючих материалов (ЛГМ), можно судить о степени пожарной опасности различных типов леса в отдельные периоды пожароопасного сезона.

Изучение запаса наземных горючих материалов в лесничестве проводилось следующим образом. Прежде всего по лесоустроительным материалам устанавливалось распределение насаждений по типам леса и типам лесорастительных условий, классам бонитета, полноте, возрасту, составу и происхождению древостоев. Выявлялись наиболее опасные в пожарном отношении типы насаждения, в которых закладывались пробные площади. Первичным материалом при подборе пробных площадей служили таксационное описание и план лесонасаждений.

На основе полученных данных в лесу было произведено предварительное изучение насаждений и проверка их соответствия заданным требованиям и таксационному описанию. Пробные площади были заложены в наиболее горимых и пожароопасных типах леса: сосняк брусничниковый (сбр), тип лесорастительных условий (ТЛУ) – А<sub>2</sub>, сосняк беломошниковый (сбел) – А<sub>1</sub>; сосняк кисличниковый (скис) – С<sub>2</sub>; сосняк майниково-черничный (смч) – В<sub>3</sub>; сосняк липовый – С<sub>2</sub>; сосняк разнотравный – С<sub>2</sub>. При этом в каждом из этих типов леса изучение запаса ЛГМ производилось по пробным площадям, которые закладывались и в лесных культурах, в приспевающих насаждениях, а также в спелых древостоях. Таким образом, было заложено и исследовано 15 пробных площадей.

После определения таксационных характеристик пробных площадей на каждой из них закладывались учетные площадки размером 20×20 см в количестве 25 штук через 5 м друг от друга. С помощью ножа и линейки каждая площадка по четырем сторонам обрезается на всю глубину подстилки и мохового покрова.

Учет горючих материалов производился по типам напочвенного покрова. Для этого с каждой площадки в отдельную тару собирались живой напочвенный покров и подстилка, после чего производилось их взвешивание с точностью до 0,01 г (с учетом веса тары) для определения веса во влажном состоянии. Затем они высушивались до воздушно-сухого состояния и снова взвешивались также с точностью до 0,01 г. Далее данные отдельно по пробам высушивались до абсолютно сухого состояния в специальной сушильной печи, взвешивались с точностью до 0,01 г. Полученные данные были обра-

ботаны с помощью описательной статистики в среде «MS Excel», и результаты были сведены в таблицу 6.

Процессы, происходящие во время роста древостоев, прямо или косвенно влияют на запас лесных горючих материалов. При этом масса их в зависимости от типа лесорастительных условий и их вида имеет тенденцию либо к увеличению (накапливание опада хвои и листвы, шишек, веточек, переход опада в лесную подстилку и т.п.), либо к уменьшению в процессе перегнивания.

Возгорание начинается обычно с лесной подстилки, поэтому на учетных площадках сначала измерялась толщина подстилки, а потом производился сбор опада, живого напочвенного покрова и подстилки. В камеральных условиях определялись объем и плотность подстилки. Обобщенные данные, полученные на пробных площадях, приведены в таблице 5.

Таблица 5

**Определение плотности лесной подстилки**

№ квартала	Тип леса	Состав	Возраст	Полнота	Толщина подстилки, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Объем, см <sup>3</sup>
187	Смб, В <sub>2</sub>	9С1Б+С	70	0,8	4,0	0,017	1600
204	Смб, В <sub>2</sub>	9С1Б	60	0,7	6,0	0,025	2400
187	Сб, А <sub>2</sub>	7СЗБ	44	0,8	8,0	0,026	3200
187	Сб, А <sub>2</sub>	10С+Б	85	0,8	9,0	0,011	3600
188	Сб, А <sub>2</sub>	8С2Б	8	0,6	4,5-между рядами культур	0,016	1800
					3,0-в ряду	0,018	1200
205	Смч, В <sub>3</sub>	6С4Б	65	0,8	6,0	0,028	2400
205	Сб, А <sub>2</sub>	10С	5	-	3,0	0,029	1200
206	Сб,, А <sub>2</sub>	10С+С	120	0,7	10,0	0,034	4000
207	Сб,, А <sub>2</sub>	8С2Б	27	0,6	12,0	0,018	4800
195	Ск. С <sub>3</sub>	7СЗБ+Е+О	61	0,7	5,0	0,020	2000
212	СЛп. С <sub>2</sub>	8Б2Ос+Лп	85	0,6	6,0	0,044	2400
196	Срт. С <sub>2</sub>	7СЗБ	40	0,6	3,0	0,043	1200
213	Смб. В <sub>2</sub>	7С1Е1Ив1Б	20	0,5	5,0	0,063	2000
197	Смб В <sub>2</sub>	10С	160	0,5	5,0	0,034	2000
197	Сбел. А <sub>1</sub>	9С1Б	49	0,8	3,0	0,021	2000

Анализируя полученные данные, можно утверждать, что в зависимости от состава древостоя, возраста, типа лесорастительных условий толщина подстилки изменяется. Очевидно (см. табл. 5), что в 207 квартале подстилка составляет 12 см, состав 8С2Б, возраст 27 лет, сосняк брусничный, А<sub>2</sub>, а наименьшая же толщина подстилки в рядах лесных культур в квартале 196. Чем меньше плотность, тем лучше идет процесс горения; наименьшая плотность (0,011) – в квартале 187, выделе 14. Самая большая плотность подстилки (0,063) обнаружена на пробной площадке в кв. 213, где низкая полнота и богатые условия произрастания способствуют хорошему росту и развитию для живого напочвенного покрова, а также накоплению опада. Такая закономерность определена на пробных площадках в сосняках липовом и разнотравном в кв. 196,212.

Масса лесной подстилки и живого напочвенного покрова, приведена в таблице 6.

Масса горючих материалов в сыром, воздушно-сухом и абсолютно сухом состоянии

№ кв.	№ выд	Тип леса	ТЛУ	Лесная подстилка			ЖНП			Итого		
				в сыром состоянии	в воздушно-сухом	в абсолютно сухом	в сыром состоянии	в воздушно-сухом	в абсолютно сухом	в сыром состоянии	в воздушно-сухом	в абсолютно сухом
187	12	Смб	В <sub>2</sub>	39,06	10,85	9,02	21,41	6,05	5,48	60,47	16,90	14,50
204	1	Смб	В <sub>2</sub>	70,64	16,59	14,91	32,78	4,76	4,23	102,42	21,36	19,14
187	2	Сбр	А <sub>2</sub>	91,39	22,54	20,47	2,45	0,76	0,52	93,84	23,31	21,00
187	14	Сбр	А <sub>2</sub>	45,63	14,34	9,82	7,78	2,96	2,61	53,42	17,30	12,43
188	18	Сбр	А <sub>2</sub>	27,03	85,35	7,44	2,94	1,03	0,89	29,97	9,56	8,33
205	4	Смч	В <sub>3</sub>	55,03	18,48	16,99	23,58	9,84	8,84	78,62	28,32	25,83
205	5	Сбр	А <sub>2</sub>	24,62	11,81	8,63	6,59	2,45	2,15	31,21	14,27	10,78
206	1	Сбр	А <sub>2</sub>	117,86	36,57	33,88	52,46	14,94	12,61	170,32	51,51	46,49
207	3	Сбр	А <sub>2</sub>	68,77	22,81	21,56	82,86	14,78	13,36	151,63	37,59	34,92
212	9	Слп	С <sub>2</sub>	76,81	29,94	26,44	26,67	7,15	6,48	103,48	37,10	32,92
195	17	Скис	С <sub>3</sub>	35,69	11,04	10,17	38,06	12,78	10,92	73,75	23,82	21,09
213	2	Срг	С <sub>2</sub>	59,48	33,60	31,45	10,22	3,34	3,11	69,708	36,94	34,56
196	18	Срг	С <sub>2</sub>	24,14	13,37	12,96	24,83	7,11	6,25	48,983	20,48	19,22
197	26	Смб	В <sub>2</sub>	62,14	24,13	16,92	13,04	5,09	4,56	75,188	29,23	21,49
197	11	Сбел	А <sub>1</sub>	38,03	11,07	5,50	47,68	13,01	11,20	85,715	24,09	16,70

Анализ данных таблицы показывает, что наибольшая масса ЛГМ лесных горючих материалов наблюдается: в сосняке брусничниковом А<sub>2</sub> – 46,49 т/га, возраст 120 лет, полнота 0,7; сосняке брусничниковом А<sub>2</sub> – 34,92 т/га, возраст 27 лет, полнота 0,6; сосняке липовом С<sub>2</sub> – 32,92 т/га, возраст 85 лет, полнота 0,6. В сосняках майниково-черничных В<sub>3</sub> – 25,83 т/га, возраст 65 лет, полнота 0,8 и возраст 85, полнота 0,6. На пробных площадях, заложенных в сухих типах леса: сосняках белошниковых (А<sub>1</sub>) в возрасте 49 лет накопилось 16,7 т/га, в более старшем возрасте происходит накопление горючих материалов, но живой напочвенный покров представлен здесь в основном лишайниками, которые сами по себе имеют маленькую массу. Анализ массы горючих материалов по условиям произрастания выявил, что в богатых и влажных условиях произрастания (В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, С<sub>2</sub>, С<sub>3</sub>) при высокой полноте насаждения происходит большее накопление горючих материалов.

**Выводы.** По данным проведенных исследований, леса Суводского районного лесничества Кировской области в настоящее время являются объектом повышенной пожарной опасности, особенно горимыми бывают лесные культуры сосны.

На общей территории лесничества в период с 1998 по 2018 год возникло 88 пожаров. Большее количество пожаров произошло по вине местного населения. Пик горимости по числу случаев и по площади приходится на май (соответственно 46 и 59 %), поэтому в это время работникам лесничества необходимо вести пропагандистскую и агитационно-разъяснительную работу среди населения, контролировать предупредительные мероприятия, усилить патрулирование леса. Большая часть лесничества представлена сосновыми насаждениями высокого класса пожарной опасности, в которых в результате наших исследований установлено, что наибольшее количество лесных горючих материалов наблюдается в сосняках-брусничниках – 46,49 т/га, в сосняках майниково-

черничных – 25,83 т/га, и сосняках липовых – 32,92 т/га. Анализ горимости лесов и количество лесных горючих материалов показывает важность ежегодного проведения комплекса противопожарных мероприятий, проектирование которых должно основываться на тщательном анализе причин возникновения пожаров и их устранения.

*Список литературы*

1. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Лесное хозяйство, 1970. С. 171-231.
2. Troumbis Andreas Y., Trabaud Louis Вопросы воспламеняемости в пирологической экологии. Some questions about flammability in fire ecology Acta oecol. Oecol. plant. 1989. 10, No. 2. P. 167-175.

**THE COMBUSTIBILITY OF THE FORESTS AND FOREST RESERVES  
OF COMBUSTIBLE MATERIALS IN SPACES ZAVODSKOGO FORESTRY  
OF THE KIROV REGION**

*Ivanov Alexander Vladimirovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Analyzed the combustibility of the forests and the analysis of wasntsure the number of fires months on the territory of the district Zavodskogo forestry for the twenty-year period from 1998 to 2018, defines stocks of forest combustible materials in the plantings Zavodskogo site forestry.*

**Keywords:** *combustibility, stocks of combustible forest materials (LGM), classes of fire hazard, litter, litter.*

УДК 502.2.05: 598.2:599.426

**ОРНИТОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ АЭРОПОРТА  
«ЙОШКАР-ОЛА» И БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ\***

*Мальков Юрий Гаврилович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
MalkovYG@volgatech.net

*В статье рассматриваются орнитологическая обстановка территории аэропорта г. Йошкар-Олы – государственного бюджетного учреждения Республики Марий Эл «Аэропорт «Йошкар-Ола», оценка рисков, факторы, влияющие на видовой состав и численность птиц. Приведены описание методики и объектов исследования, представлены сведения о видовом составе и численности птиц на территории аэропорта. Даны практические рекомендации по обеспечению орнитологической безопасности полетов.*

**Ключевые слова:** *авиационная орнитология, аэропорт, безопасность полетов, орнитофауна.*

\* Работа выполнена при поддержке руководства ГБУ Республики Марий Эл «Аэропорт «Йошкар-Ола» в соответствии с договором № 20 от 15.01.2016 г.

Автор выражает благодарность сотруднику аэропорт «Йошкар-Ола» Д.Р. Еникееву за оказанную практическую помощь в проведении исследования.

**Введение.** В современных условиях аэропорт является чрезвычайно сложной системой, которая, наряду с решением других задач, призвана обеспечить максимальную безопасность полетов. Безопасность полетов аэропортов обеспечивается комплексным подходом, предусматривающим не только эффективное распределение и использование уже имеющихся ресурсов по обеспечению безопасности. Важное место здесь занимает планирование мер по долгосрочному обеспечению орнитологической безопасности полетов, которое основывается на орнитологическом обследовании территории аэропорта и его окрестностей.

Для ГБУ «Аэропорт «Йошкар-Ола» данный вопрос представляется весьма актуальным в связи с введением его в постоянную эксплуатацию по приему и обслуживанию самолетов федерального и межрегионального сообщения.

**Актуальность темы исследования.** Как показывают многолетняя практика и результаты исследований по данному вопросу, в последние десятилетия птицы стали рассматриваться как серьезная угроза для авиации, так как столкновения их с самолетами начали приводить к многочисленным происшествиям. Вероятность столкновений воздушных судов с птицами возросла в связи с резким увеличением скоростей и размеров самолетов, широким применением более мощных современных турбин, значительно уменьшающих шум двигателя перед самолетом, их способностью засасывать птиц, оказавшихся на пути самолета. Птицам стало труднее координировать свой полет, своевременно обнаруживать приближение самолетов и уклоняться от столкновения. Только за период с 01.01.2005 по 31.08.2015 в автоматизированной системе обеспечения безопасности полетов гражданских воздушных судов Российской Федерации (далее – ВС) зарегистрировано 544 авиационных события, связанных со столкновениями воздушных судов с птицами [1].

По данным ФАУ «Государственный центр «Безопасность полетов» риск столкновений ВС с птицами в зависимости от высоты полета имеет различную вероятность. Так, например, на высоте до 100 м он составляет 45,8 %; 101-400 м – 28 %; 401-1000 м – 12,7 %; 1001-2000 м – 7,5 %; 2001-5000 м – 5,2 %; на высоте свыше 5000 м – 0,8 %.

Очевидно, что наиболее «птицеопасным» этапом полета является нахождение воздушного судна на высоте круга и ниже, при выполнении которого полет происходит длительное время на высотах возможного скопления птиц.

*Международная статистика* столкновений самолетов с птицами показывает:

- в 69 % случаев столкновение произошло в дневное время;
- в 15 % случаев – ночью, а остальная часть – на рассвете и в сумерках;
- 65 % столкновений приходится на класс ВС с турбовентиляторными двигателями малолучных и скоростных (весом более 27 000 кг) машин;
- 29 % случаев приходится на этап захода на посадку;
- 25 % столкновений случается при разбеге при взлете;
- 51% случаев происходит на высотах ниже 30 м;
- в 92 % случаев пилоты не были предупреждены о наличии значительного числа птиц в воздухе [2-4].

По видам птиц случаи столкновений распределяются следующим образом: голуби – 26,2 %; чайки – 19,1 %; водоплавающие (гусеобразные, гагары и др.) – 14,0 %; воробьи – 13,4 %; дневные хищные птицы – 13,1 %; врановые – 6,2 %; стрижи – 3,2 %; совы – 2,5 %; журавли, аисты, цапли – 2,0 % [5].

Пики столкновений приходятся на летние месяцы, что для природно-климатических условий России указывает на активное участие в столкновениях с ВС местных, то есть гнездящихся птиц и их потомства. Также характерно нарастание интенсивности столкновений ВС с птицами в период весенней и осенней миграции при перелетах к местам размножения и к местам зимовок. Следовательно, при выполнении мероприятий по предотвращению столкновений птиц с ВС необходимо особо учитывать вероятность повышенной численности птиц в этот период.

**Целью** орнитологического обследования аэродрома и прилегающей к нему территории явилось определение характера орнитологической обстановки на аэродроме и прилегающей к нему территории и выявления условий, способствующих концентрации здесь птиц.

Условия местообитания орнитофауны на территории, прилегающей к зоне аэродрома ГБУ Республики Марий Эл «Аэропорт Йошкар-Ола», определяются совокупностью целого ряда факторов, образующих сложный экологический комплекс.

*Лимитирующими климатическими факторами*, влияющими на условия местообитания, станции видов орнитофауны, их распределение в исследуемом районе являются:

- высокая летняя температура и инсоляция;
- недостаточное выпадение осадков в совокупности с высокими температурами воздуха в вегетационный период;
- годы с избыточным количеством осадков, особенно в вегетационный период, продолжительные сильные дожди, прохладная погода (создают неблагоприятные условия для птенцов, молодняка птиц и увеличивают вероятность их отпада);
- отдельные годы, когда наблюдаются слишком ранние и поздние зимы, частые зимние метели, маломощный снежный покров, глубокое промерзание почвы, медленный приход тепла, сильные ветры;
- снежный покров [6, 7].

**Объекты и методика исследований.** Объектом обследования явились район аэродрома и служебные здания аэропорта и авиагородка.

Территория летного поля аэродрома относится к луговому ландшафту. Растительность представлена различными полынями и злаковыми, подмаренником настоящим, люцерной полевой, донниками белым и лекарственным, лопухом, чиной луговой и др.

С южной стороны аэродром граничит с пойменными лугами и небольшими болотцами. Здесь проходит резкая граница между городом и лугами, за пределами города отсутствует какое-либо строительство.

С западной и северной сторон аэродром окружают сельскохозяйственные угодья с посевами зерновых. С востока к аэродрому примыкают служебные строения аэропорта,

аэровокзал, несколько малоэтажных домов авиагородка, д. Большой Шаплак, очистные сооружения, садоводческое товарищество «Аэрофлотовец», детский конно-спортивный комплекс. В непосредственной близости от аэропорта расположены деревни, садоводческие товарищества (рис. 1).



Рис. 1. Ситуационная схема аэродрома Йошкар-Ола, его окрестностей и расстояния до ближайших населенных пунктов

Для выявления сезонных особенностей орнитологической обстановки методика предусматривала обследование в различные периоды годовой активности птиц:

- зимний (конец ноября - февраль) – характеризуется относительно простой и стабильной орнитологической обстановкой;
- весенний (март - май) – период массовой миграции птиц;
- раннелетний (середина мая - первая половина июля) – период гнездования до появления летающих птенцов;
- позднелетний (вторая половина июля - август) – период массового вылета птенцов;
- осенний (сентябрь - ноябрь) – период массовой миграции птиц.

Начало и окончание каждого из этих периодов определяется путем систематических наблюдений, сопоставления с климатическими характеристиками, использования данных справочной литературы.

При орнитологическом обследовании, проведенном в течение весенне-летнего периода 2016 г., были выделены два участка, на которых оценивалась численность птиц: «аэродром» и «служебная зона». С двух пунктов, расположенных в южной и северной частях ИВПП, двумя наблюдателями один раз в пять дней в течение двух дней по два часа после рассвета и до заката солнца проводились учеты птиц, пересекающих ИВПП. При этом регистрировались видовая принадлежность, высота и направление полета птиц.

Наблюдения с двух противоположных точек ИВПП позволили судить о пролете птиц над всей ее протяженностью. Кроме того, оценивалась численность гнездящихся птиц на поле аэродрома и в служебной зоне аэропорта.

К существенному фактору риска столкновений птиц с воздушными судами относится наличие ключевых орнитологических территорий (КОТР), которые представляют собой наиболее ценные для птиц участки земной или водной поверхности, например, местообитания редких видов птиц, места колониального гнездования, линные, миграционные и зимовочные скопления. В 30-километровой зоне приаэродромной территории аэродрома КОТР отсутствуют.

**Орнитологическая обстановка в районе аэродрома.** На аэродроме Йошкар-Ола регулярные наблюдения проводятся с 1 ноября 2013 года. Количественный состав птиц, пролетающих над территорией аэропорта за период наблюдений (с 2013 по 2016 год), графически показан на рисунке 2.

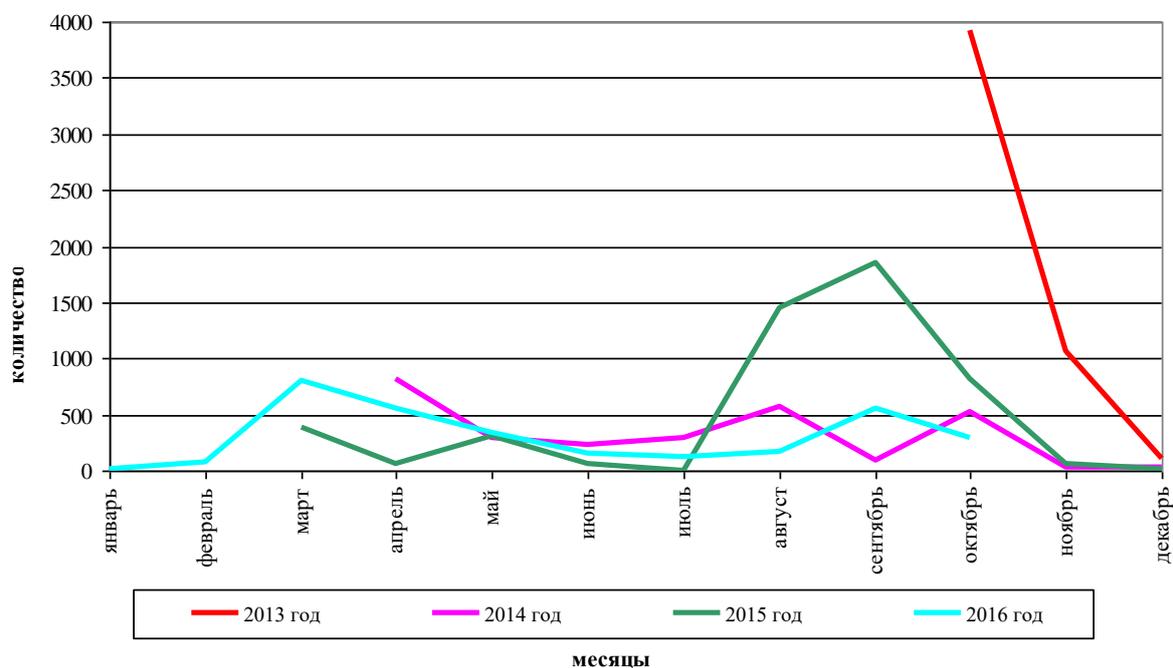


Рис. 2. Количество птиц, пролетающих над территорией аэропорта, зафиксированных за период наблюдений

Как видно из графика, принятие эффективных мер по обеспечению безопасности полетов на основе наблюдений, позволило уменьшить численность птиц до стабильного уровня без пиковых величин, связанных с весенней и осенней миграцией птиц.

Преобладающим общим направлением пролетных птиц является пролет с юга на север. Основной пролет крупных водоплавающих и околоводных птиц идет на высоте примерно от 75 до 200 м. Мелкие воробьиные летят ниже: их потолок до 50-100 м. Кроме того, они примерно с 10-11 часов начинают опускаться на аэродром для кормежки и отдыха. В эти сроки в районе аэропорта существует явный «коридор» по которому ежедневно птицы совершают разлет на кормежку и обратно. Это направление – город Йошкар-Ола – сады «Аэрофлотовец» – пос. Шойбулак. Высота пролета небольшая – до 50-70 м. Этот коридор сохраняется в течение всего года, так как врановые обитают здесь круглогодично.

**Видовой состав и численность орнитофауны на территории аэропорта.** За период эколого-орнитологического обследования (с апреля 2016 г. до января 2017 г.) на территории аэродрома зарегистрировано 46 видов птиц (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав орнитофауны, учтенный на территории аэродрома

Русское название отряда, вида	Латинское название	Статус пребывания
<b>Отряд Гусеобразные</b>		
Серый гусь	<i>Anser anser</i>	пр.
Шилохвость	<i>Anas acuta</i>	пр.
<b>Отряд Совообразные</b>		
Ушастая сова	<i>Asio otus</i>	зал.
<b>Отряд Курообразные</b>		
Серая куропатка	<i>Perdix perdix</i>	пр.
Перепел	<i>Coturnix coturnix</i>	пр.
<b>Отряд Голубеобразные</b>		
Вяхрь (витютень, лесной голубь)	<i>Columba palumbus</i>	зал.
Клинтух	<i>Columba oenas</i>	пр.
Сизый голубь	<i>Columba livia</i>	зал.
<b>Отряд Ржанкообразные</b>		
Чибис (Пигалица)	<i>Vanellus vanellus</i>	пр., зал.
Озерная чайка	<i>Larus ridibundus</i>	зал.
Сизая чайка	<i>Larus canus</i>	зал.
Обыкновенная крачка	<i>Sterna hirundo</i>	зал.
<b>Отряд Соколообразные</b>		
Черный коршун	<i>Milvus migrans</i>	зал.
Полевой лунь	<i>Circus cyaneus</i>	зал.
Луговой лунь	<i>Circus pygargus</i>	зал.
Болотный лунь	<i>Circus aeruginosus</i>	зал.
Перепелятник	<i>Accipiter nisus</i>	зал.
Обыкновенный канюк	<i>Buteo buteo</i>	зал.
Кобчик	<i>Falco vespertinus</i>	зал.
Пустельга	<i>Falco tinnunculus</i>	зал.
<b>Отряд Стрижеобразные</b>		
Черный стриж	<i>Apus apus</i>	зал.
<b>Отряд Воробьеобразные</b>		
Деревенская ласточка	<i>Hirundo rustica</i>	гн.
Полевой жаворонок	<i>Alauda arvensis</i>	гн.
Лесной конек	<i>Anthus trivialis</i>	пр.
Желтая трясогузка	<i>Motacilla flava</i>	гн.
Белая трясогузка	<i>Motacilla alba</i>	гн.

Окончание табл. 1

Русское название отряда, вида	Латинское название	Статус пребывания
Обыкновенный скворец	<i>Sturnus vulgaris</i>	зал.
Сорока	<i>Pica pica</i>	гн.
Галка	<i>Corvus monedula</i>	зал., пр.
Грач	<i>Corvus frugilegus</i>	зал., пр.
Серая ворона	<i>Corvus cornix</i>	зал., пр.
Ворон	<i>Corvus corax</i>	зал.
Свиристель	<i>Bombycilla garrulus</i>	пр.
Обыкновенный сверчок	<i>Locustella naevia</i>	гн.
Луговой чекан	<i>Saxicola rubetra</i>	гн.
Черноголовый чекан	<i>Saxicola caprata</i>	гн.
Обыкновенная каменка	<i>Oenanthe oenanthe</i>	гн.
Рябинник	<i>Turdus pilaris</i>	зал., пр.
Полевой воробей	<i>Passer montanus</i>	гн.
Зяблик	<i>Fringilla coelebs</i>	пр.
Обыкновенная зеленушка	<i>Chloris chloris</i>	пр.
Черноголовый щегол	<i>Carduelis carduelis</i>	зал.
Большая синица	<i>Parus major</i>	зал., пр.
Обыкновенный снегирь	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	зал., пр.
Обыкновенная овсянка	<i>Emberiza citrinella</i>	гн.
Пуночка	<i>Plectrophenax nivalis</i>	пр.
Всего видов		46

Условные обозначения:

гн. – вид гнездится; пр. – встречается на пролете во время сезонных миграций;

зал. – залетает на аэродром с соседней территории.

Наиболее многочисленным по количеству видов оказался отряд Воробьеобразных (54,35 %). Заслуживает внимания также присутствие в составе видов представителей отряда Соколообразных (17,39 %), но они отмечены единично.

Из 46 выявленных видов птиц 12 видов (26,1 %) гнездятся (наличие брачного поведения, гнезд, птенцов) в основном на земле. Обилие гнездящихся птиц отражено в таблице 2.

Таблица 2

## Видовой состав птиц, гнездящихся на территории аэродрома

Русские синонимы	Научное название	Обилие, пары/км <sup>2</sup>
Пустельга	<i>Falco tinnunculus</i>	1
Деревенская ласточка	<i>Hirundo rustica</i>	2
Полевой жаворонок	<i>Alauda arvensis</i>	50
Желтая трясогузка	<i>Motacilla flava</i>	40
Белая трясогузка	<i>Motacilla alba</i>	10
Сорока	<i>Pica pica</i>	2
Обыкновенный сверчок	<i>Locustella naevia</i>	4
Луговой чекан	<i>Saxicola rubetra</i>	10
Черноголовый чекан	<i>Saxicola caprata</i>	25
Обыкновенная каменка	<i>Oenanthe oenanthe</i>	6
Полевой воробей	<i>Passer montanus</i>	5
Обыкновенная овсянка	<i>Emberiza citrinella</i>	15
<b>Всего</b>		<b>130</b>

В связи с тем, что большая часть аэродрома представлена открытыми ландшафтами, 25 видов (54,35 %) – виды-посетители, которые кормятся здесь или используют территорию для перемещения, а 14 видов (30,4 %) – синантропы.

Таким образом, всего на 1 кв. км территории аэродрома приходится 130 гнездящихся пар птиц.

Кроме гнездящихся на территории видов, другие птицы появляются в районе взлетно-посадочной полосы эпизодически: или в период сезонных миграций, или подлетают с соседних территорий в связи с кормовой привлекательностью поля аэродрома. Среди них отмечаются виды средних и крупных размеров, представляющих потенциальную опасность для самолетов.

Специфический вид опасности на аэродромах создают хищные птицы, охотящиеся на мышевидных грызунов: пустельга обыкновенная, канюк, чёрный коршун и др. Данные виды распределяются на открытой территории в большинстве случаев одиночно, реже парами (в брачный период) для поиска мышевидных грызунов на высоте 80-110 метров и совершают, зависая («парят»), охотничьи полёты, что особенно опасно для аэродромной территории и её ближайших окрестностей.

Таким образом, в связи с разнообразием условий, на территории аэродрома сформировался своеобразный орнитоценоз, состоящий из птиц разных экологических групп, с достаточно разнообразным видовым составом и высокой численностью, превышающей таковую в естественных биотопах.

**Выводы и рекомендации.** Обеспечение безопасности полетов, связанной со столкновениями воздушных судов с птицами, основывается на разработке и выполнении комплекса мероприятий, которые можно отнести к следующим основным направлениям действий:

- постоянный орнитологический мониторинг;
- выявление и устранение условий, способствующих концентрации птиц в районе аэропорта;
- оперативные меры по отпугиванию птиц с использованием технических средств.

Это нашло отражение в нормативных документах гражданской авиации, на это обращается особое внимание и рядом современных исследователей [3, 8-11].

*Организация орнитологического мониторинга территории аэродрома и приаэродромной территории* предусматривает создание информационной системы, включающей в себя слежение и получение сведений о видовом разнообразии и численности пернатых, их суточной и сезонной динамике, направлении, скорости перемещения и высотном распределении полетов птиц, местах концентрации, а также реакции птиц на применение отпугивающих средств. Результаты орнитологического мониторинга послужат основой для применения наиболее эффективных мер по обеспечению безопасности полетов.

На территории Йошкар-Олинского аэропорта самолётоопасными видами являются прежде всего чайки и врановые, особенно в период с июля по август. Эффективной мерой борьбы с пребыванием чаек, а также других (не менее опасных) птиц на территории аэродрома оказалась ликвидация мелких водоёмов и канав, что привело к ликвидации условий гнездопригодности, кормообеспеченности, защищенности, мест отдыха водоплавающих птиц.

Для уменьшения численности синантропных врановых, являющихся второй не менее опасной для самолётов группой птиц, необходимо в окрестностях аэропорта не допускать стихийно возникающих свалок. Положительно отмечается ликвидация муниципальной свалки коммунальных отходов близ деревни Аксарка.

Из мероприятий по устранению условий, способствующих концентрации птиц, следует выделить периодическое удаление зарослей и отдельных кустарников в пределах территории аэродрома, скашивание травяного покрова на летном поле до оптимальной высоты, а также удаление высоких деревьев, в том числе в зоне, прилегающей к зданиям и сооружениям аэропорта, на которых размещены или устраиваются весной гнезда птиц, а со второй половины лета, осенью и зимой они являются местами ночёвок врановых птиц, а соответственно, и источником возможных пролётных потоков над аэропортом.

Для ограничения доступа птиц к емкостям и контейнерам с бытовыми и пищевыми отходами необходимы установка сеточного ограждения мусорных площадок, хранение пищевых отходов в закрытых контейнерах и своевременная их вывозка.

Определенный эффект может дать применение различных методов отпугивания птиц, включая биоакустическое отпугивание [3, 8], а также малозатратные (проезд на автомашине по лётному полю с включенным звуковым сигналом и установка отпугивающих предметов) с соблюдением обязательной смены методов отпугивания (непрерывное или слишком частое применение любого отпугивающего средства со временем снижает его эффективность из-за адаптации к нему птиц). Кроме того, эффект могут дать одновременное применение нескольких способов отпугивания птиц (например, воспроизведение криков бедствия и стрельба из ракетниц и ружей, установка отпугивающих предметов при соблюдении их периодического чередования).

В отношении массовых видов птиц, таких как врановые (галка, грач, серая ворона) применим частичный, эпизодический отстрел.

В целях обеспечения соблюдения санитарно-эпидемиологических требований целесообразно регулярное информирование службой аэропорта органов государственного экологического контроля и надзора, органов местного самоуправления о необходимости постоянного контроля за выполнением санитарных норм на имеющихся полигонах (свалках) и недопущения вновь образующихся несанкционированных свалок отходов потребления, в т.ч. пищевых отходов, в 30 км зоне приаэродромной террито-

рии с целью изменения путей миграции и кочевок птиц от мест гнездования на кор-  
межку и обратно.

Выполнение вышеизложенных рекомендаций окажет существенное влияние на  
обеспечение орнитологической безопасности полетов воздушных судов в районе аэро-  
порта «Йошкар-Ола».

#### *Список литературы*

1. Информация об авиационных происшествиях и инцидентах, связанных со столкновени-  
ем воздушных судов с птицами и дикими животными // Федеральное агентство воздушного  
транспорта / Управление инспекции по безопасности полетов. М., 2015. 12 с.
2. Информация по безопасности полетов № 14: письмо Росавиации (с приложением «Ин-  
формация по орнитологическому обеспечению безопасности полетов на территории Россий-  
ской Федерации») от 08.08.2013 № 02.3-947.
3. Авдюшина А. Е., Звягинцева А. В. Анализ статистики столкновений воздушных судов с  
птицами за 2002-2012 годы и современные средства обеспечения орнитологической безопасно-  
сти полетов // Гелиогеофизические исследования / результаты исследований геофизических  
рисков. 2014. Вып. 9. С. 65-77.
4. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации  
в 2015 году // Информация / Федеральное агентство воздушного транспорта. М., 2016. 90 с.
5. Колесниченко Ю. М. Орнитологическая безопасность полетов: проблемы и пути реше-  
ния // Проблемы безопасности полетов: научно-технический журнал. Москва: ВИНТИ, 2007.  
№ 12. С. 26-34.
6. Агроклиматические ресурсы Марийской АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 106 с.
7. Климатическое описание аэродрома Йошкар-Ола / Верхне-Волжский филиал ФГБУ  
«Авиаметтелеком Росгидромета» / АМСГ Йошкар-Ола. Йошкар-Ола, 2016.
8. Руководство по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации (РО-  
ОП ГА -89) (утв. МГА приказом № 209 от 26.12.1988 года.
9. Руководство по аэропортовым службам. Часть 3. Создаваемая птицами опасность и ме-  
тоды ее снижения // Международная организация гражданской авиации (ИКАО). Издание тре-  
тье, 1991. Дос 9137-AN/898.
10. Силаева О. Л., Ильичёв В. Д., Золотарёв С. С. Основные направления авиационной ор-  
нитологии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Экология и безопас-  
ность жизнедеятельности». 2010. № 5. С. 10-15.

#### **ORNITHOLOGICAL SITUATION IN THE TERRITORY OF THE AIRPORT «YOSHKAR-OLA»**

*Malkov Yury Gavrilovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The article discusses the ornithological area of the airport Yoshkar-Ola, the state budgetary institution (GBU) of the Republic of Mari El "Airport" Yoshkar-Ola ", risk assessment, factors affecting the species composition and number of birds, describes the methodology and objects of study, information on the species composition and number of birds at the airport, recommendations for ensuring ornithological flight safety.*

**Keywords:** *airport, flight safety, avifauna.*

УДК 634.18

## ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОВ СОРТОВЫХ РЯБИН В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ-ИНСТИТУТЕ ПГТУ

*Мухаметова Светлана Валерьевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
MuhametovaSV@volgatech.net

*Приведены параметры плодов сортов рябины обыкновенной БСИ ПГТУ в 2018 году. Были выделены сорта с крупными и тяжелыми плодами – ‘Алая Крупная’, ‘Титан’, ‘Гранатная’, ‘Бурка’, с мелкими и легкими – ‘Десертная Мичурина’, ‘Невежинская’, ‘Вефед’, ‘Дочь Кубовой’. Массовое созревание плодов сорта ‘Десертная Мичурина’ было отмечено 20 августа, ‘Невежинская’ – 18 сентября, остальных – во второй декаде сентября. Выход воздушно-сухого сырья варьировал от 20,7 до 24,8 %. Наибольшей межсортовой изменчивостью характеризовалась масса плодов, в меньшей степени – их линейные размеры; наименее изменчив оказался выход сухого сырья. Для сортов с большей массой плодов был характерен больший их размер, выход воздушно-сухого сырья обратно коррелировал с массой плодов.*

**Ключевые слова:** *рябина обыкновенная, Sorbus aucuparia, плодоношение, масса плодов.*

**Введение.** Виды рябины широко распространены в умеренном поясе Северного полушария, некоторые из них заходят в арктический пояс и тропики. Центр наибольшего разнообразия рода находится в Восточной Азии. Род характеризуется значительным внутривидовым разнообразием, возможна также межвидовая и межродовая гибридизация, что обуславливает значительный полиморфизм по многим признакам [1].

Рябина обыкновенная занимает обширный ареал: почти всю Европу, Западную Сибирь, Малую Азию, север Африки. Растет в хвойно-мелколиственных лесах по опушкам, прогалинам, в подлеске, реже среди лугов, на каменистых местах, по обрывам речных берегов. Предпочитает лесную зону, а также тенистые и влажные местообитания лесостепной зоны и преимущественно горные места, но не выше лесного пояса. На севере проникает до лесотундры. Неприхотливость рябины, морозостойкость и декоративность способствовали ее широкому распространению в культуре. В озеленении используется группами, в рядовых и аллейных посадках, в качестве подлеска. Как плодое пищевое растение стала выращиваться в России в конце XIX века [2].

В естественных местообитаниях рябина плодоносит нерегулярно с перерывами в несколько лет. Характер периодичности связан с индивидуальными особенностями и условиями произрастания. В условиях культуры рябина плодоносит более регулярно и при правильном уходе менее склонна к периодичности плодоношения, чем другие плодовые растения. Среди плодовых культур рябина является одной из самых зимостойких [1]. И. В. Мичурин настоятельно рекомендовал вводить рябину в культуру, особенно в северных и северо-восточных районах страны [3].

В истории селекции рябины в России самая первая сладкоплодная форма рябины обыкновенной была обнаружена в XIX веке в окрестностях села Невежино Владимир-

ской области. На ее основе в советское время был выделен сорт народной селекции 'Невежинская'. Первым селекционером рябины в России был И. В. Мичурин. Им в результате отдаленной гибридизации рябины обыкновенной с аронией, боярышником, мушмулой, яблоней, грушей были получены гибридные сорта 'Ликерная', 'Бурка', 'Гранатная', 'Мичуринская Десертная', которые значительно отличались от лучших форм рябины того времени. Они были зимостойкими, скороплодными, слаборослыми, с меньшей горечью плодов. В дальнейшем А.С. Тихоновой из его гибридного фонда были выделены сорта 'Красавица' и 'Рубиновая', а также получены сорта 'Титан' и 'Алая Крупная' [4]. Такие сорта, как 'Бусинка', 'Вефед', 'Дочь Кубовой', 'Сорбинка' получены Всероссийским НИИ генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина (г. Мичуринск). Селекция рябины в целом направлена на улучшение вкусовых качеств, повышение ценности биохимического состава и технологических качеств плодов, крупноплодность, низкорослость, устойчивость к неблагоприятным факторам среды, ежегодную урожайность, раннее вступление растений в фазу плодоношения [4, 5]. Гибридные сорта требуют перекрестного опыления [2].

Плоды дикорастущих видов чаще всего имеют терпкий горьковатый вкус, у сортов – сладкий или кисло-сладкий. Они пригодны для употребления в свежем, сушеном и моченом виде, а также для изготовления варенья, повидла, пастилы, мармелада, компота, уксуса, кваса и других заготовок [2, 3]. Также рябина издавна известна как лекарственное растение – поливитаминное, тонизирующее, мочегонное, кровоостанавливающее, вяжущее средство [2]. Сухие плоды входят в состав лечебных витаминных сборов. При съеме плодов срезают целые кисти [3]. Плоды рябины обыкновенной отличаются хорошей лежкостью благодаря наличию в них сорбиновой кислоты [5].

Плоды рябины содержат 5–16 % сахаров, 0,5–3,0 % органических кислот, до 1 % пектиновых веществ, до 200 мг% витамина С, до 20 мг% каротина, до 400 мг% биофлавоноидов, филлохинон, токоферолы, фолиевую кислоту, рибофлавин, амилалин и др. Плоды также содержат значительное количество кальция, магния, фосфора, железа, йода и других элементов [3].

**Цель работы** – изучение параметров плодов сортов рябины обыкновенной коллекции Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета (БСИ ПГТУ), г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл.

**Объектами исследования** стали образцы 8 таксонов коллекции БСИ ПГТУ [6]. Растения сортов 'Десертная Мичурина' и 'Невежинская' получены из Всероссийского НИИ садоводства имени И.В. Мичурина (г. Мичуринск) в 2008 году. Сорта 'Алая Крупная' и 'Вефед' поступили из Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева (г. Москва) в 2007 году, 'Бурка' – из Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск) в 2002 году. Сорта 'Гранатная' и 'Дочь Кубовой' ('Солнечная') приобретены в ООО «Садовая компания «Садко» (г. Москва) в 2005 году. Растения перечисленных рябин произ-

растают в экспозиции «Дикоплодовые растения», их возраст на 2018 год составил 15–20 лет.

**Методики исследования.** Плоды собирали в сентябре 2018 г. Диаметр 30 плодов измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Плоды в 3 навесках по 100 шт. взвешивали на электронных весах SJCE VIBRA с точностью до 0,01 г, затем высушивали до воздушно-сухого состояния при температуре 60 °С в электрической сушилке для овощей и фруктов ЭСОФ-0,5/220 «Ветерок». Выход воздушно-сухих плодов, выраженный в процентах, получали отношением массы сухих плодов к массе свежесобранных. Данные обработаны методами вариационной статистики с помощью пакета анализа Microsoft Excel на 95-процентном уровне значимости. Получены статистические значения с ошибкой не выше 5 %, достоверность различия средних значений показателей рассчитана при  $\alpha = 0,05$ .

**Изложение результатов.** Основные показатели плодов сортов рябины приведены в таблице.

Показатели плодов сортов рябины в 2018 г.

Наименование сорта	Дата массового созревания плодов	Масса 100 плодов, г	Размеры плодов, мм		Выход воздушно-сухого сырья, %
			диаметр	высота	
‘Алая Крупная’	21.09	132,5±6,83	12,9±0,31	12,6±0,33	20,7±0,41
‘Бурка’	26.09	91,9±1,60	11,9±0,18	11,5±0,23	24,1±0,15
‘Вефед’	21.09	56,3±0,76	10,2±0,25	10,2±0,21	24,2±0,28
‘Гранатная’	21.09	92,7±3,07	11,5±0,20	10,9±0,19	24,2±0,11
‘Десертная Мичурина’	20.08	68,5±0,68	11,5±0,15	9,8±0,12	22,4±0,11
‘Дочь Кубовой’	21.09	52,4±1,49	9,9±0,21	9,4±0,20	24,8±0,39
‘Невежинская’	18.09	63,1±0,34	10,2±0,18	9,7±0,19	22,9±0,38
‘Титан’	21.09	102,9±0,92	12,3±0,17	12,0±0,21	22,1±0,44
Среднее	17.09±4,11	8,25±9,70	11,3±0,38	10,8±0,42	23,2±0,49
Коэффициент вариации, %	5,8	33,2	9,6	11,1	6,0

Среди изученных сортов рябина ‘Десертная Мичурина’ характеризовалась самым ранним созреванием плодов – 20 августа. Плоды остальных сортов созрели во второй декаде сентября, лишь у сорта ‘Невежинская’ данная фенофаза отмечена несколько раньше – 18 сентября.

Относительно среднего значения показателей были выделены сорта с крупными и тяжелыми плодами – ‘Алая Крупная’, ‘Титан’, ‘Гранатная’, ‘Бурка’, а также с мелкими и легкими – ‘Десертная Мичурина’, ‘Невежинская’, ‘Вефед’, ‘Дочь Кубовой’ (см. рисунок). Самые крупные плоды (‘Алая Крупная’) превосходили самые мелкие (‘Дочь Кубовой’) по массе в 2,5 раза.

Наиболее изменчивым показателем среди изученных являлась масса плодов, наиболее стабильными – выход воздушно-сухого сырья и календарная дата созревания плодов. Выход воздушно-сухого сырья варьировал от 20,7 до 24,8 %. Сорт ‘Алая Крупная’ характеризовался наименьшим значением данного показателя, существенно отли-

чающимся от остальных. Между массой и размерами плодов исследуемых сортов выявлена очень тесная положительная корреляция ( $r = 0,94$  и  $0,96$ ), между массой и выходом сырья – значительная отрицательная ( $r = -0,69$ ).



**Плоды сортов рябины обыкновенной:**  
*а* – ‘Алая Крупная’, *б* – ‘Гранатная’, *в* – ‘Десертная Мичурина’

Сорта ‘Гранатная’ и ‘Бурка’ не имели значимых различий по всем показателям. Различия между остальными сортами по массе плодов статистически достоверны при  $\alpha = 0,05$  (лишь между рябинами ‘Вефед’ и ‘Дочь Кубовой’ при  $\alpha = 0,10$ ). Мелкоплодные сорта по высоте плодов не различались между собой, но по диаметру ‘Десертная Мичурина’, характеризующаяся реповидной формой, превышала остальные и была приближена к сортам ‘Гранатная’ и ‘Бурка’. По обоим линейным размерам плоды ‘Титана’ не отличались от сортов ‘Бурка’ и ‘Алая Крупная’.

**Выводы.** В результате исследования выявлено, что растения изученных сортов рябины обыкновенной в условиях г. Йошкар-Олы плодоносят успешно. Наибольшей межсортной изменчивостью характеризовалась масса плодов, в меньшей степени – их линейные размеры, наименее изменчивы выход сухого сырья, а также дата массового созревания плодов. Для сортов с большей массой плодов был характерен больший их размер, выход воздушно-сухого сырья обратно коррелировал с массой плодов.

Полученные данные могут быть использованы при организации плантационного возделывания сортов рябины в условиях Волго-Вятского региона.

#### *Список литературы*

1. Интродукция нетрадиционных плодовых, ягодных и овощных растений в Западной Сибири / А. Б. Горбунов, В. С. Симагин, Ю. В. Фотев и др.; науч. ред. И. Ю. Коропачинский, А. Б. Горбунов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Центральный сибирский ботанический сад. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. 290 с.
2. Петрова В.П. Дикорастущие плоды и ягоды. М.: Лесная промышленность, 1987. 248 с.
3. Ракитин А.Ю. Приусадебное хозяйство. Плодоводство / Золотые советы Тимирязевской академии. М.: Лик пресс, 2001. 336 с.
4. Поплавская Т.К., Канунников А.М. Селекция и внедрение новых сортов рябины в садоводство рябины. Пермь: Перм. книжн. изд-во, 2006. 151 с.
5. Меженский В.Н. Рябина. М.: АСТ; Донецк: Сталкер, 2006. 79 с.

6. Коллекционные фонды Ботанического сада-института Марийского государственного технического университета / Л. И. Котова, С. М. Лазарева, Л. В. Сухарева и др.; отв. ред. С. М. Лазарева. Изд. 2-е, доп., испр. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 152 с.

**FRUITS PARAMETERS OF SORBUS VARIETIES  
IN THE BOTANICAL GARDEN-INSTITUTE OF VSUT**

*Mukhametova Svetlana Valeryevna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The fruits parameters of Sorbus aucuparia varieties in the Botanical garden-institute of VSUT in 2018 are given. The studied varieties were divided into 2 groups according to the fruits sizes and mass. The varieties with large and heavy fruits: 'Alaya Krupnaya', 'Titan', 'Granatnaya', 'Burka'. The varieties with small and light ones: 'Desertnaya Michurina', 'Nevezhinskaya', 'Vefed', 'Doch Kubovoy'. Mass fruit maturation of variety 'Desertnaya Michurina' was noted on August 20, 'Nevezhinskaya' – 18 September, the rest – in the second decade of September. The yield of air-dry raw materials varied from 20.7 to 24.8 %. The fruits mass was characterized by the greatest variability between varieties. The fruits linear sizes are less variable. The yield of dried fruits was least changeable. The bigger size of fruits was corresponded to the higher mass of fruits. The yield of dried fruits inversely correlates with the fruits mass.*

**Keywords:** rowan, *Sorbus aucuparia*, fruiting, mass of fruits.

УДК 630\*232.32

**МОДИФИКАЦИЯ ТЕПЛИЧНЫХ СУБСТРАТОВ ВНЕСЕНИЕМ СПОР  
МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИХ ГРИБОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ДУБА  
ЧЕРЕШЧАТОГО В КОНТЕЙНЕРАХ**

*Мухортов Дмитрий Иванович, Антропова Анна Владимировна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
MuhortovDI@volgatech.net, adreana91@mail.ru

*В данной статье рассматривается вопрос выращивания посадочного материала дуба черешчатого. В частности, большое внимание уделяется микробиологическому составу корнезакрывающего субстрата в процессе выращивания сеянцев, который в ходе приготовления полностью обеззараживается. В ходе эксперимента в один из вариантов вместе с желудями были посеяны споры микоризообразующих грибов. В результате исследований было выявлено, что в данных вариантах, в отличие от контрольного (без посева), доля стандартных сеянцев выше. Следовательно, обогащение корнезакрывающего субстрата спорами микоризных грибов может стать успешным этапом в технологии выращивания сеянцев дуба черешчатого с закрытой корневой системой.*

**Ключевые слова:** лесовосстановление, сеянцы с закрытой корневой системой, дуб черешчатый, корнезакрывающий субстрат, микробиология, микориза.

**Введение.** Лесное хозяйство России и мира в целом озабочено проблемой восстановления дубрав, так как сохранение устойчивой экосистемы планеты во многом зависит от поддержания высокого видового разнообразия флоры и фауны. Большую роль в

сохранении биоразнообразия играет почва, являющаяся одной из наиболее сложных экосистем в природе и одним из самых богато населенных ареалов обитания на Земле: в ней живет огромное множество различных организмов, которые взаимодействуют между собой и вносят свой вклад в глобальные циклы, обеспечивающие возможность жизни в целом.

Микроорганизмы, как биологические катализаторы, определяют основное свойство почвы – плодородие. Они синтезируют и выделяют разнообразные продукты метаболизма, которые входят в состав почвы, обуславливая ее плодородие. В процессе жизнедеятельности все население почвы производит биохимическую работу огромного значения. Перерабатывая большое количество органических и минеральных соединений, микроорганизмы непрерывно синтезируют новые органические и неорганические вещества [1].

В настоящее время считается, что наиболее перспективной лесной технологией является способ создания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой, который имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным методом посадки. Посадка саженцев с закрытой корневой системой значительно увеличивает приживаемость, рост и развитие саженцев, сокращает время выращивания, а также продлевает время посадки деревьев и позволяет увеличить урожайность в питомниках. Кроме того, подготовка субстрата с хорошими физико-химическими свойствами обеспечивает нормальное развитие корневой системы и хорошее питание растений, а также обеспечивает производство лесных плодов с использованием высококачественного растительного материала.

**Актуальность темы.** Современные тепличные субстраты, предназначенные для выращивания лесопосадочного материала, подвергаются различной обработке от вредоносных микроорганизмов. Однако при подобных обработках погибают как вредные, так и полезные микроорганизмы, которые синтезируют и выделяют разнообразные продукты метаболизма, обуславливая плодородие почвы. В связи с этим поиск способов обогащения тепличного субстрата микроорганизмами является важным вопросом при выращивании посадочного материала с закрытой корневой системой, в частности дуба черешчатого.

**Цель исследования** – разработка способа улучшения свойств тепличного субстрата для выращивания сеянцев луба черешчатого в контейнерах с использованием спор грибов.

**Решаемые задачи:**

- 1) изучить рост и развитие сеянцев в зависимости от внесения спор микоризных грибов;
- 2) сравнить влияние спор микоризных грибов на изменение микрофлоры корнезакрывающего субстрата.

Следовательно, создание технологий выращивания растительного материала с замкнутой корневой системой является перспективным направлением, требующим углубленных исследований и экспериментов для определения наилучших и наиболее оптимальных условий для выращивания рассады.

**Методика исследования.** Посев семян дуба черешчатого производился в контейнеры вручную в теплице арочного типа с поликарбонатным покрытием и наличием автоматизированной поливной системы (ЦКП ПГТУ Ботанического сада-института ПГТУ). Посев желудей во все контейнеры производился одновременно.

Биометрические показатели сеянцев определялись путём измерения: высоты подземной, надземной частей стволика и длины корня с помощью линейки, диаметра шейки корня с помощью электронного штангенциркуля (точность 0,001). Перед измерением сеянцы извлекаются из кассеты, очищаются от земли встряхиванием.

Методика определения количества колоний микроорганизмов [3] широко применяется для определения численности жизнеспособных клеток в различных естественных субстратах и в лабораторных культурах. В его основе лежит принцип Коха, согласно которому каждая колония является потомством одной клетки. Это позволяет на основании числа колоний, выросших после посева на плотную питательную среду определенного объёма исследуемой суспензии, судить об исходном содержании в ней клеток микроорганизмов. Результаты количественного определения микроорганизмов, проведенного по методу Коха, часто выражают не в числе клеток, а в условных, так называемых колониобразующих единицах (КОЕ).

Определение числа микроорганизмов этим методом включает три этапа:

- приготовление разведений;
- посев на плотную среду в чашки Петри;
- подсчет выросших колоний.

**Результаты исследования.** Согласно правилам лесовосстановления стандартные параметры для сеянцев дуба черешчатого по высоте составляют 12 см, а по диаметру корневой шейки – 3 мм. По результатам исследования, в варианте при одновременном посеве в корнезакрывающий субстрат семян дуба и спор микоризообразующих грибов, к концу вегетативного сезона средние параметры высот сеянцев оказались выше контрольного варианта. Доля стандартных сеянцев [2] составляет 58 % в контрольном варианте, а в субстрате со спорами грибов – 78 %.

В таблице 1 представлены средние значения параметров сеянцев и различие их по коэффициенту Стьюдента.

Средняя высота сеянцы дуба черешчатого, выращенных с внесением спор микоризообразующего гриба (12,4 см), выше контрольного варианта (без внесения) на 10 % (11,1 см). Среднее значение диаметра корневой шейки в обоих вариантах равен 3,3-3,4 мм. Корневая система имеет длину выше в контрольном варианте на 14 %. Это может быть связано с тем, что сеянцам не требуется увеличение длины корня для того, чтобы извлечь больше питательных веществ из субстрата.

При  $t_{теор} = 1,68$  можно сказать, что различия в диаметре и высотах незначительны по вариантам, так как  $t_{факт}$  меньше  $t_{теор}$ . Длина корня имеет существенные различия по вариантам.

Таблица 1

## Биометрические показатели сеянцев дуба черешчатого

Параметры	Среднее значение		t <sub>факт</sub> (t <sub>теор</sub> =1,68)
	(I) без посева	(II) с посевом	
Высота стволика, см	11,1	12,4	1,61
Длина корня, см	10,8	9,3	2,21
Диаметр корневой шейки, мм	3,4	3,3	0,24
Масса сухих корней, г/100 шт	34,5	35,5	0,28
Масса мелких сухих корней, г/100 шт	4,3	6,9	4,3

Масса сухого вещества корневой системы в обоих вариантах одинаковая и составляет порядка 35-36 г на 100 штук сеянцев. Однако масса мелких корней на 62 % выше в варианте с посевом спор микоризообразующих грибов в субстрат для выращивания сеянцев дуба черешчатого. Следовательно, можно сделать вывод о том, с посевом микоризообразующих грибов мелкие корни развиваются больше в отличие от варианта без микоризообразующих грибов. Высокая плотность мелких корней позволяет растению лучше всасывать воду и растворенные в ней минеральные вещества.

Далее в лабораторных условиях нами были изучены оба варианта субстратов на наличие в них бактерий и грибов. В таблице 2 представлены результаты исследований.

Таблица 2

## Результаты исследований на наличие грибов и бактерий в высейных средах по вариантам

Концентрации	КОЕ/г субстрата			
	Колонии бактерий (среда ГРМ)		Колония грибов (среда Чапека)	
	без посева микоризообразующих грибов	с посевом микоризообразующих грибов	без посева микоризообразующих грибов	с посевом микоризообразующих грибов
Без разбавления	464 400	11 029 500	2 322 000	4 644 000
Разбавление в 22 раза	23 220	406 350	41 796	92 880
Разбавление в 100 раз	10 010	22 575	1 032	2 709

В контрольном варианте в среде ГРМ количество колонеобразующих единиц (КОЕ) бактерий составляет 10 010 КОЕ на 1 г субстрата, что в два раза меньше чем в варианте с посевом спор грибов – 22 580 КОЕ/г.

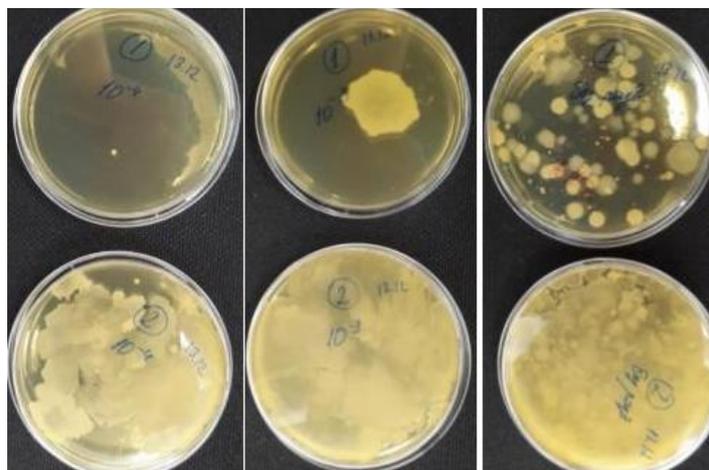
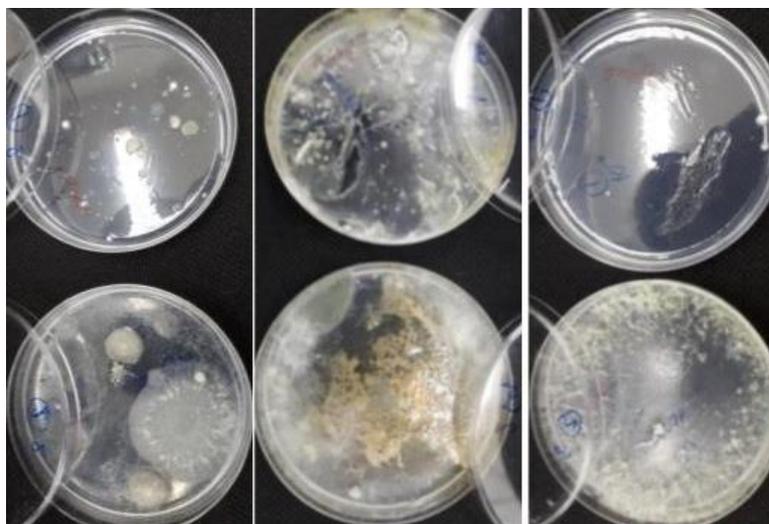


Рис. 1. Варианты с внесением в среду Чапека вытяжки из субстрата (с внесением спор микоризообразующих грибов). Верхний ряд – без посева микоризообразующих грибов, нижний ряд – с посевом микоризообразующих грибов. Слева направо – увеличение концентрации почвенной вытяжки

В среде Чапека, в контрольном варианте (1 032 КОЕ/г), что в 2,7 раз меньше колоний грибов на 1 г субстрата в варианте с посевом спор микоризообразующих грибов (2 710 КОЕ/г).



**Рис. 2. Варианты с внесением в среду ГРМ вытяжки из субстрата** (с внесением спор микоризообразующих грибов). *Верхний ряд* – без посева микоризообразующих грибов, *нижний ряд* – с посевом микоризообразующих грибов. *Слева направо* – увеличение концентрации почвенной вытяжки

На рисунках 1 и 2 можно увидеть, что в субстратах с внесением спор микоризообразующих грибов наблюдается интенсивное развитие почвенных микроорганизмов (грибов и бактерий). Таким образом, лабораторные исследования субстрата указывают на тенденцию к обогащению микроорганизмами при внесении спор микоризообразующих грибов, что способствует увеличению плодородия почвы.

#### **Выводы**

1. В варианте с одновременным посевом субстрат семян дуба и спор микоризных грибов средние показатели высоты проростков в завершении вегетационного периода выше, чем в контрольном варианте. Доля стандартных сеянцев в контрольном варианте составляет 58 %, а в субстрате со спорами грибов – 78 %.

2. Средние линейные параметры сеянцев имеют значения, которые не ниже нормы для правила лесовосстановления. Высота варьируется от 16,9 до 18,0 см, а диаметр корневой шейки – от 4,6 до 6,3 мм. Длина корневой системы находится в пределах 7,0 см и ограничена высотой клеточных кассет.

3. Масса сухого вещества корневой системы в обоих вариантах одинаковая и составляет порядка 35-36 г на 100 штук сеянцев. Однако масса мелких корней на 62 % выше в варианте с посевом спор микоризообразующих грибов в субстрат для выращивания сеянцев дуба черешчатого. Следовательно, можно сделать вывод о том, с посевом микоризообразующих грибов мелкие корни больше развиваются в отличие от варианта без микоризообразующих грибов. Высокая плотность мелких корней позволяет растению лучше всасывать воду и растворенные в ней минеральные вещества.

4. Лабораторные показатели субстрата при посеве вытяжек на питательную среду показывают тенденцию к увеличению доли грибов и бактерий в вариантах с добавлением спор микоризообразующих грибов.

5. На основании всех результатов можно утверждать, что обогащение субстрата, покрывающего корни, спорами микоризных грибов может быть эффективным средством модификации корнезакрывающего субстрата.

Однако для разработки технологий обогащения микоризообразующими грибами корнезакрывающего субстрата следует провести исследования с применением различных биологических препаратов, с вариантами по концентрации спор грибов и срокам их внесения, а также проследить динамику изменения микробиологического состава субстрата при поливе и внесении удобрений.

#### Список литературы

1. Микроорганизмы почвы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mikrobio.balakiets.kharkov.ua/contents-1-2.html> 07.02.19, 17:25
2. Микроорганизмы в почве, их роль в трансформации растительных остатков и формировании гумуса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.agrocounsel.ru/mikroorganizmy-v-pochve> 07.02.19, 17:40
3. Войно Л. И., Строева С. С., Устинова Ю. В. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине «Общая биология и микробиология» для студентов направления 240700.62 «Биотехнология». Москва, 2013.
4. Лесные культуры. Ускоренное лесовыращивание: учебное пособие / Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Д. И. Мухортов, Т. В. Нуреева. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2007. 288 с.
5. Мухортов Д. И. Утилизация органических отходов при искусственном лесовосстановлении: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук (06.03.01) / ФБУ ВНИИЛМ. Москва, 2013. 44 с.
6. Опыт выращивания сеянцев дуба черешчатого с закрытой корневой системой / М. И. Смышляева, Е. А. Анисимова, С. Э. Егошина, М. В. Сапожникова // Научному прогрессу – творчество молодых: в 2 ч. / редкол.: Д. В. Иванов и др. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. Ч. 2. С. 21-23.
7. Мочалов Б. А. Использование разных видов посадочного материала для лесовосстановления в зоне европейской части России // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере: сб. научн. трудов. Архангельск, 2005. С. 123-136.
8. Первый лесопромышленный портал [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о состоянии дубрав. Режим доступа: [http://pro-besedki.ucoz.ru/index/besedki\\_besedki\\_besedki\\_iz\\_brevna/0-15](http://pro-besedki.ucoz.ru/index/besedki_besedki_besedki_iz_brevna/0-15).
9. Отраслевая программа по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой в организациях министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на период до 2020 года // Лесное и охотничье хозяйство. 2014. № 7. С. 18–30.

#### MODIFICATION OF HOTHOUSE SUBSTRATES IN THE IMPORTATION OF SPORES OF MIKORI-ZOOBRAZUYUSHCHIH OF FUNGI FOR CULTIVATION OF SEEDLINGS OF DOOB OF CHERESHCHA-TOGO IN CONTAINERS

*Mukhortov Dmitry Ivanovich, Antropova Anna Vladimirovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*In this article the question of cultivation of landing material of an oak chereshchaty is considered. In particular much attention is paid to microbiological composition of kornezakryvayushchy substrate in the course of cultivation of seedlings which during preparation is completely disinfected. During the experiment in one of*

*options together with acorns spores the mikorizoobrazuyushchikh of fungi were seeded. As a result of researches it was revealed that in these options in difference from control (without crops), the share of standard seedlings is higher. Therefore, enrichment of kornezakryvayushchy substrate spores of mycorrhizal fungi can become a successful stage in technology of cultivation of seedlings of an oak chereshchaty with the closed root system.*

**Keywords:** reforestation, seedlings with the closed root system, an oak chereshchaty, kornezakryvayushchy substrate, a microbiology, a mikoriza.

УДК 621.86 (075.8)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ЗЕВА ГРЕЙФЕРА КРУГЛЫМИ ЛЕСОМАТЕРИАЛАМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ НА ЗАЧЕРПЫВАНИЕ

*Никишов Юрий Гаврилович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

*Проведён анализ современных методик (силовой и энергетической) расчёта грейферов для зачерпывания круглых лесоматериалов. Выявлены их основные недостатки. Предложена более простая методика определения мощности на зачерпывание пакета брёвен в зависимости от мощности на подъём центра тяжести пакета на определённую высоту с учётом формы челюсти и мощности на формирование пакета внутри зева грейфера, которая учитывается коэффициентом приведённой мощности.*

**Ключевые слова:** грейфер, зачерпывание, пакет брёвен, центр тяжести пакета, мощность на зачерпывание, коэффициент приведённой мощности.

**Введение.** Вопросы совершенствования конструкций и методик расчёта грейферных механизмов для зачерпывания круглых лесоматериалов, повышения их надёжности и производительности имеют важное народнохозяйственное значение.

В настоящее время при расчёте грейферов используются две методики их расчёта: силовая и энергетическая. Силовая методика расчёта разрабатывалась В. В. Андроновым, Ю. А. Виноградовым, А. Д. Бондаренко, С. Д. Парамоновым, В. Г. Высочинским, К. Ф. Гороховским, Н. В. Лифшицем, Б. А. Таубером [1-5, 7, 8, 10]. Данная методика расчёта грейферных механизмов исходит из условия наибольшего нагружения рабочих органов (челюстей) приводным механизмом. При этом не учитываются вид и форма груза (лесоматериалов), форма челюстей, условия заполнения грейфера и т.д., влияющих на величину равнодействующей силы, приложенной к концу челюсти. Это затрудняет аналитическое определение действительного усилия на челюстях грейфера в зависимости от различных факторов.

Следовательно, теоретические исследования, проведённые вышеупомянутыми авторами по силовому взаимодействию челюстей грейфера с круглыми лесоматериалами, не могут служить основной методикой расчётов грейферов, т.е. применение её не является беспорным.

Рекомендуемые приближённые формулы для определения равнодействующей сил сопротивления  $R$  не всегда подтверждаются экспериментально [4]. Вычисления данной силы  $R$  и отыскание точки её приложения в зеве грейфера является трудоёмкой операцией и предполагает наличие готовой формы челюсти. В приведённых выше работах процесс зачерпывания рассматривается в статике в конечной фазе зачерпывания и не учитывается динамика процесса набора пачки, которая предполагает более точные данные для расчёта грейферов.

Динамические воздействия на элементы грейфера существенным образом влияют на работоспособность и надёжность и, в конечном итоге, на срок их службы и грейфера в целом. Подробно воздействие динамических нагрузок на элементы грейфера рассмотрено в работе [7] и учтено путем введения в расчёты коэффициента динамичности  $K_d$ .

Выводы, к которым приходят вышеупомянутые авторы, зачастую противоречивы и не всегда достаточно обоснованы (много допущений), что даёт основание для дальнейших исследований. Многофункциональное влияние различных факторов на силы, действующие при зачерпывании брёвен, трудно вычислить с учётом условий эксплуатации (погодные факторы, качество лесоматериалов, квалификация крановщика, режим работы, «возраст» грейфера и т.д.).

Более удобным для инженерных расчётов, на наш взгляд, является *энергетический метод*, разработанный докт. техн. наук, проф. Б. А. Таубером [10, 11]. Этот метод также не лишён недостатков, главными из которых являются: зависимость удельных энергозатрат  $C_0$  от породы древесины, длины и диаметра брёвен, формы челюстей, состояния поверхности зачерпываемой древесины (сухая, влажная и т. д.). Величина этого коэффициента определяется *экспериментально*. Мощность на зачерпывание зависит от времени зачерпывания и коэффициента динамичности. Время на зачерпывание существенно отличается от времени закрытия грейфера в холостом режиме. Определяется также экспериментально и даёт значительный разброс по сравнению с теоретическим значением [10]. Учитывая, что эти факторы постоянно варьируются, мощность на зачерпывание также будет меняться. Таким образом, данный метод не является совершенным, что даёт основания для дальнейших исследований. Качественное улучшение энергетического метода расчёта грейферов является *актуальной задачей*.

**Цель исследования** – совершенствование энергетической методики расчёта грейферов путём разделения мощности на зачерпывание пакета брёвен: на мощность подъёма центра тяжести пакета на определённую высоту и мощность на формирование пакета внутри зева грейфера.

**Решение исследовательских задач.** Как известно, в процессе зачерпывания круглых лесоматериалов из штабеля грейфером происходит многократное переформирование исходного пакета с одними геометрическими параметрами (прямоугольник) в новый пакет с другими геометрическими параметрами в зависимости от внутреннего очертания челюстей грейфера (круг, эллипс, овал, трапеция и т.д.) в конце зачерпыва-

ния. При этом совершается работа сжимающих сил внутри зева, которые преодолевают различные сопротивления внутри пачки (силы трения между брёвнами, выборку зазоров между брёвнами, разрушение «балок» из контактирующих брёвен и т.д.), а также сопротивления от перемещения пакета по челюстям грейфера. В настоящее время нет точных методов определения этих сил.

В энергетическом методе расчёта исходными данными является удельный расход электроэнергии  $C_0$  (кВт. Ч / м<sup>3</sup>). Как показали результаты исследований, проведённых Б. А. Таубером, Ю. А. Виноградовым, А. Д. Бондаренко, Г. Е. Шуть, Я. А. Сербиным, В. М. Морохиным [2-4, 6, 9-11], значения удельных энергозатрат  $C_0$  существенно зависят от формы челюстей. В монографии Б. А. Таубера [10] даны графики зависимости коэффициента  $C_0$  от длины и породы круглых лесоматериалов для серповидной (полукруглой) формы челюстей. Значение удельных энергозатрат  $C_0$  для трапецеидальной формы челюстей, полученные экспериментальным путём, приведены в статье А. Д. Бондаренко [2], а для эллиптической формы – в статье В. И. Морохина [6]. Зная величину удельных энергозатрат  $C_0$ , можно определить работу на зачерпывание по формуле [10]

$$A_{\text{зач}} = 3600 \cdot V_{\text{п}} \cdot C_0 \cdot \varphi_0 \cdot K_{\text{д}}, \text{ н.м.}, \quad (1)$$

а зная время зачерпывания пакета, можно найти потребную мощность по формуле

$$P_{\text{зач}} = \frac{A_{\text{зач}}}{T} = \frac{3600 \cdot V_{\text{п}} \cdot C_0 \cdot \varphi_0 \cdot K_{\text{д}}}{T}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{п}}$  – объём зачерпнутого пакета, м<sup>3</sup>;  $\varphi_0$  – коэффициент, учитывающий влияние диаметра брёвен;  $K_{\text{д}}$  – коэффициент динамичности.

Сущность предлагаемого автором энергетического метода расчёта состоит в следующем. Процесс зачерпывания (заполнения зева) круглых лесоматериалов радиальным грейфером разделяется на 2 операции:

- а) формирование пакета лесоматериалов внутри зева нужной формы (преодоление сил сопротивления);
- б) подъём его центра тяжести на определённую высоту (в зависимости от формы челюсти), обеспечивающую полное заполнение грейфера.

Таким образом, мощность на зачерпывание состоит из мощности на формирование пакета и мощности на подъём его центра тяжести на определённую высоту:

$$P_{\text{зач}} = P_{\text{п}} + P_{\text{ф.п.}}, \text{ кВт}. \quad (3)$$

Работа на подъём центра тяжести сформированного пакета равна потенциальной энергии и определяется как произведение массы (веса) пакета на величину вертикального перемещения центра тяжести пакета и не зависит от вида траектории, по которой перемещается центр тяжести:

$$A = E_{\text{п}} = m_{\text{п}} \cdot g \cdot h_{\text{ц.т.}}, \text{ кВт}. \quad (4)$$

Центр тяжести пакета в зависимости от формы зева грейфера определяется методами теоретической механики. Тогда мощность, затраченная на подъём пакета на определённую высоту  $P_{\text{п}}$ , будет равна

$$P_{\Pi} = \frac{A}{T} = \frac{m_{\Pi} \cdot g \cdot h_{\text{ц.т.}}}{T}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где  $T$  – время на зачерпывание пакета, с;  $m_{\Pi}$  – масса зачерпнутого пакета, кг;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $h_{\text{ц.т.}}$  – высота центра тяжести пакета от горизонтали соприкосновения концов челюстей в закрытом состоянии, м.

Мощность, затрачиваемая на формирование пакета внутри зева  $P_{\text{ф.п}}$ , определяется как разность мощности на зачерпывание  $P_{\text{зач}}$ , определённую по формуле (2), и мощности на подъём центра тяжести пакета, т.е.

$$P_{\text{ф.п}} = P_{\text{зач}} - P_{\Pi}. \quad (6)$$

Далее определяется коэффициент пропорциональности этих мощностей  $K = P_{\text{ф.п}}/P_{\Pi}$ , откуда мощность на формирование пакета равна

$$P_{\text{ф.п}} = K \cdot P_{\Pi}. \quad (7)$$

Таким образом, мощность на зачерпывание пакета круглых лесоматериалов в долях мощности на подъём центра тяжести пакета определяется по формуле

$$P_{\text{зач}} = P_{\Pi} + K P_{\Pi} = (1 + K) P_{\Pi} = K_{\text{п.м.}} \cdot P_{\Pi}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{п.м.}}$  – коэффициент приведённой мощности на зачерпывание.

Зная мощность на зачерпывание пакета круглых лесоматериалов и КПД грейфера, находят мощность электродвигателя и подбирают его по каталогу (справочнику). Далее ведётся расчёт смыкающей системы (механизма замыкания) грейфера.

По новой методике проведён расчёт 15 типов грейферов с разной формой челюстей, видом привода, различными параметрами круглых лесоматериалов, времени зачерпывания и коэффициента динамичности. При этом получены значения коэффициента приведённой мощности  $K_{\text{п.м.}}$ . Заинтересованные читатели могут обратиться к автору за дополнительными комментариями.

### Выводы

1. Предложен новый метод расчёта мощности на зачерпывание пакета круглой древесины в зависимости от потенциальной энергии подъёма центра тяжести пакета на определённую высоту и энергии на формирование пакета в зеве грейфера.

2. Доказано, что данный метод значительно упрощает расчёты и сокращает время на проектирование грейферных механизмов.

3. При использовании других форм челюстей, кроме указанных в статье, необходимо экспериментально определить удельные энергозатраты на зачерпывание.

### Список литературы

1. Андронов В. В. Механика в лесоинженерном деле: учебное пособие. М.: МГУЛ, 1997. 176 с.
2. Бондаренко А. Д. Исследование процесса зачерпывания круглых лесоматериалов приводным грейфером: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МЛТИ, 1977. 24 с.

3. Виноградов Ю. А. Исследование силовых характеристик процесса зачерпывания грейфером круглой древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МЛТИ, 1970. 16 с.
4. Виноградов Ю. А., Тимошенко П. Д. Экспериментальное исследование процесса зачерпывания сортиментов и хлыстов челюстями грейфера // Научные труды Свердловского научно-исследовательского института лесной промышленности. Свердловск: СНИИЛП, 1975. № 5. С. 149-163.
5. Гороховской К. Ф., Лифшиц Н. В. Основы технологических расчётов оборудования лесосечных и лесоскладских работ. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 256 с.
6. Морохин В. И. Оптимизация формы челюстей грейфера // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1983. № 52. С. 87-96.
7. Никишов Ю. Г. Обоснование параметров приводных грейферных механизмов для круглых лесоматериалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 24 с.
8. Парамонов С. Д., Высочанский В.Г. Силы сопротивления при зачерпывании грейфером пачки круглых лесоматериалов // Труды ЦНИИМЭ. Химки. 1976. С. 149-154.
9. Сербин Я. А. Сравнительные испытания моделей приводных грейферов для круглых лесоматериалов. Научные труды. М.: МЛТИ, 1983. Вып. 154. С. 64-94.
10. Таубер Б. А. Грейферные механизмы М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
11. Таубер Б. А. Грейферные механизмы. М.: Машиностроение, 1967. 424 с.
12. Шуть Г. Е. Теоретическое и экспериментальное исследование работы одноканатного грейфера для круглых лесоматериалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МЛТИ, 1975. 29 с.

**RESEARCH OF THE PROCESS OF FILLING THE ZEVA GRAIFER WITH CIRCLE WOODLANDS AND DETERMINATION OF THE POWER FOR CALCULATION**

*Nikishov Yuri Gavrilovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The analysis of modern methods of calculation (power and energy) grabs for scooping round timber. Identified their main shortcomings. A method is proposed for determining the power of scooping a package of logs depending on the power to lift the center of gravity of the package to a certain height, taking into account the shape of the jaw and the power to form a package inside the grapple earth, which is taken into account by the reduced power factor.*

*Keywords: grapple, scooping, log package, package center of gravity, scooping power, reduced power factor.*

УДК 631.532.2:635.925

**ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ  
ЛУКОВИЦ ГИАЦИНТА ВОСТОЧНОГО**

*Окач Мария Александровна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
OkachMA@volgatech.net

*В статье представлена и проанализирована динамика формирования луковиц гиацинта восточного при двухлетнем выращивании без ежегодной выкопки. Выявлены сорта с высоким коэффициентом естественного размножения – ‘Lady Derby’, ‘L’Innocence’. Показано, что сорта ‘L’Innocence’, ‘Carnegie’, ‘Lady Derby’, ‘Marie’, ‘Madam Sophie’ способны наращивать массу луковиц при культивировании без ежегодной выкопки.*

**Ключевые слова:** гиацинт восточный, *Hyacinthus orientalis*, масса луковиц, коэффициент размножения, агротехника выращивания, интродукция.

**Введение.** Среди культивируемых в открытом грунте луковичных растений особое место занимает гиацинт восточный. Эта культура отличается высокими декоративными качествами: яркой окраской соцветий, приятным ароматом, ранними сроками цветения в условиях открытого грунта.

В Нидерландах, Германии, Франции гиацинт восточный успешно используют в озеленении городских пространств. На территории ближнего зарубежья данная культура проходит интродукцию и внедряется в озеленение городов [5]. В южных районах России сорта гиацинта успешно культивируются в г. Сочи [3]. Опыт выращивания гиацинтов в районах с холодными зимами описан в работах М. В. Барановой [1], Е. Н. Зайцевой [2], Н. В. Мерзляковой [4].

При содержании гиацинтов в открытом грунте используются агротехнические рекомендации, разработанные крупными голландскими производителями луковиц. Данные производители рекомендуют для получения урожая товарных луковиц осуществлять ежегодную выкопку всех луковичных культур, в том числе и гиацинтов. Большая часть агротехнических работ в этих учреждениях механизирована (посадка, уход, выкопка, сушка и сортировка). В Ботаническом саду-институте ПГТУ под коллекцией гиацинтов заняты небольшие площади, поэтому все уходные работы проводятся вручную. При расширении коллекции увеличивается объем трудозатрат на её содержание и встает вопрос о пересмотре традиционных технологий выращивания с обязательной ежегодной выкопкой.

**Целью** данной работы является изучение динамики формирования луковиц гиацинта в многолетней культуре без ежегодной выкопки.

**Объекты исследования.** В коллекции Ботанического сада-института ПГТУ выращивается 29 сортов гиацинта восточного. Для изучения продуктивности и динамики формирования луковиц гиацинта в условиях многолетней культуры было взято 7 сортов. Среди них четыре сорта с простой формой цветка: 'L'Innocence', 'Carnegie', 'Lady Derby', 'Marie' и три сорта с махровыми цветками: 'Rosette', 'Eros', 'Madam Sophie'. Выверку названий сортов и распределение их по группам проводили согласно данным Королевского садоводческого общества [6].

**Методика исследования.** Опыт проводили в период с 2016 по 2018 гг. Луковицы каждого сорта перед посадкой были разделены в зависимости от массы на три разбора. Луковицы каждого разбора поделили на две группы. Первую группу выкапывали ежегодно в течение двух лет, а вторая группа луковиц возделывалась на одном месте два года, без ежегодной выкопки.

После выкопки в каждом разборе учитывали массу и общее количество луковиц. В ходе эксперимента масса луковиц некоторых сортов увеличивалась и превышала среднюю массу луковиц первого разбора, такие луковицы были выделены в разбор экстра. Масса экстра-луковиц составляла 50 г и более. Луковицы выращивались в одинаковых

эдафических условиях. Полевые материалы обработаны методами описательной статистики с использованием прикладной программы Microsoft Excel на 95-процентном уровне надежности.

**Изложение результатов исследования.** Динамика массы луковиц по разборам приведена в таблице.

**Динамика массы и коэффициент размножения луковиц сортов гиацинта по разборам**

Наименование сорта	Исходная масса луковицы, г	С ежегодной выкопкой			Без ежегодной выкопки	
		масса луковицы, г		коэффициент размножения	масса луковицы, г	коэффициент размножения
		на 1-й год	на 2-й год			
Луковицы первого разбора						
‘Carnegie’	33,1±1,45	38,0±7,70	44,6±7,72	0,9	65,5±9,65	3,5
‘Lady Derby’	39,3±1,90	31,8±7,41	23,9±6,40	3,8	35,2±8,94	3,1
‘Marie’	30,1±0,95	51,2±4,63	49,3±7,18	1,3	74,2±6,13	0,6
Луковицы второго разбора						
‘L’Innocence’	22,0±0,58	34,0±2,75	41,7±2,5	3,0	47,4±4,35	0,4
‘Carnegie’	21,9±0,61	36,3±1,66	41,9±2,14	1,0	61,5±3,16	0,6
‘Lady Derby’	24,4±0,57	40,8±1,49	37,8±3,79	5,5	83,8±2,84	1,5
‘Marie’	20,7±0,56	46,4±3,40	54,7±4,42	3,3	70,3±3,80	0,5
‘Madam Sophie’	20,9±0,95	25,3±4,71	30,4±4,82	1,5	44,0±4,75	1,7
‘Eros’	21,9±0,66	41,1±2,81	30,7±4,47	1,6	34,7±4,52	1,2
‘Rosette’	20,1±0,65	27,7±3,69	28,6±3,85	1,15	24,8±4,74	1,3
Луковицы третьего разбора						
‘L’Innocence’	15,2±0,51	20,8±1,04	19,8±4,44	0,80	37,0±0,93	0,3
‘Carnegie’	14,8±0,55	25,8±2,04	33,4±2,20	0,6	51,5±4,46	1,8
‘Lady Derby’	14,0±0,73	30,6±2,10	31,8±4,56	3,8	57,8±4,35	2,0
‘Marie’	14,0±0,29	35,9±1,34	47,2±1,25	1,2	58,8±3,42	0,6
‘Madam Sophie’	13,3±0,43	22,9±2,22	27,8±2,83	0,5	45,4±3,06	0,9
‘Eros’	13,3±0,42	24,9±1,45	31,0±2,15	2,2	31,3±4,48	1,1
‘Rosette’	13,6±0,25	22,4±1,92	27,7±3,08	0,65	33,8±3,86	0,6

Самыми крупными в эксперименте были луковицы первого разбора с массой от 30 до 39 г. Луковицы данной массы используют для выгонки и для создания цветников. Данный разбор был представлен сортами ‘Carnegie’, ‘Lady Derby’ и ‘Marie’. При выращивании луковиц первого разбора с ежегодной выкопкой наблюдалось уменьшение массы луковиц и увеличение естественного коэффициента размножения. У сорта ‘Lady Derby’ за два года масса луковицы с 39,3 г уменьшилась до 23,9 г, при этом коэффициент размножения был равен 3,8. У сорта ‘Carnegie’ при ежегодной выкопке масса луковиц увеличилась в 1,3 раза, а коэффициент естественного размножения был самым низким (0,9). Средняя масса луковиц у сорта ‘Marie’ в начале эксперимента составляла 30,1 г, после первого года выращивания масса луковиц увеличилась до 51,2 г. За второй год средняя масса луковиц уменьшилась относительно первого года на 2 г, а коэффициент размножения составил 2,8. При выращивании луковиц данного разбора без ежегодной выкопки масса луковиц сортов ‘Carnegie’ и ‘Marie’ увеличилась в 2 и 2,5 раза соответственно, луковицы достигли размеров разбора экстр. Коэффициент размножения у сорта ‘Carnegie’ за два года возделывания без выкопки составил 3,5. Луковицы

сорта 'Lady Derby' в данном варианте опыта также уменьшились с 39,3 г до 35,2 г, коэффициент естественного размножения составил 3,1.

Луковицы со средней массой от 20 до 24 г были объединены во второй разбор. При ежегодной выкопке масса луковиц сортов с махровыми цветками сортов 'Madam Sophie' и 'Eros' достигла первого разбора. Коэффициент размножения за два года у этой группы сортов был ниже 1. Луковицы немахровых сортов 'L'Innocence' и 'Carnegie' увеличили свою массу в 1,9 раз за два года с ежегодной выкопкой. Средняя масса луковиц сорта 'Marie' за два года с ежегодной выкопкой увеличилась с 20,7 г до 54,7 г. Наименьший прирост массы наблюдался у луковиц сорта 'Lady Derby' с 24,4 г до 37,8 г. Естественный коэффициент размножения у немахровых сортов гиацинта при ежегодной выкопке за два года выращивания не превышал 0,4.

Во втором варианте эксперимента среди махровых сортов наибольший прирост массы наблюдался у сорта 'Madam Sophie', его луковицы увеличились с 20,9 г до 44,0 г. Луковицы сорта 'Eros' увеличили свою массу до луковиц первого разбора. Среди немахровых сортов 'Carnegie', 'Lady Derby' и 'Marie' наблюдалось увеличение массы луковиц до разбора экстра.

В третий разбор были отобраны луковицы с массой от 13 до 15 г. После первого года выращивания средняя масса луковиц у махровых сортов увеличилась до размеров второго разбора. Коэффициент размножения среди данных сортов был высоким у сорта 'Eros' – 2,6. В группе сортов с немахровыми цветками масса луковиц у 'Lady Derby' и 'Marie' увеличилась до первого разбора. У сортов 'L'Innocence' и 'Carnegie' за первый год выращивания масса луковиц увеличилась до второго разбора. Коэффициент размножения у данных сортов не превышал 1,1. После второго года выращивания в данном опыте масса луковиц махровых сортов также увеличилась, у сорта 'Eros' луковицы достигли массы 31 г. За два года выращивания с ежегодной выкопкой масса луковиц сортов 'Madam Sophie' и 'Rosette' увеличилась до 27,8 и 27,7 г соответственно. Наивысший коэффициент размножения среди махровых сортов был отмечен у сорта 'Eros': за два года он составил 2,2.

У сортов с немахровыми цветками 'Carnegie', 'Lady Derby' и 'Marie' после второго года выращивания масса луковиц увеличилась в 2 раза по сравнению с первоначальной массой. Меньший прирост массы луковиц за два года выращивания наблюдался у сорта 'L'Innocence'. Высоким коэффициент размножения за два года ежегодной копки луковиц был у сорта 'Lady Derby' – 3,8. При выращивании луковиц данного разбора без ежегодной выкопки масса луковиц махровых сортов 'Madam Sophie' и 'Rosette' была выше, чем при двухлетнем выращивании с ежегодной выкопкой на 17,6 г и 6,1 г соответственно. У сорта 'Eros' масса в обоих случаях составляла 31 г.

При двухлетнем выращивании без выкопки масса луковиц немахровых сортов увеличилась в 4 раза по сравнению с исходной и была выше, чем при ежегодной выкопке в среднем в 1,5 раз. Коэффициент естественного размножения при данном способе возделывания был высоким у сорта 'Lady Derby' – 2,0.

## Выводы

1. При двухлетнем выращивании гиацинтов без ежегодной выкопки луковицы первого разбора сортов ‘Carnegie’ и ‘Marie’ увеличили свою массу до экстра-луковиц. У сортов ‘Carnegie’ и ‘Lady Derby’ выявлен высокий естественный коэффициент размножения. Луковицы второго и третьего разборов исследуемых сортов увеличили свою массу до экстра-луковиц и луковиц первого разбора. Естественный коэффициент размножения был низким.

2. При ежегодной выкопке масса луковиц первого разбора сортов ‘Carnegie’ и ‘Marie’ увеличивалась незначительно, а у сорта ‘Lady Derby’ снизилась по сравнению с начальной массой. Луковицы второго и третьего разборов при данном варианте выращивания после второго года возделывания имели более высокий коэффициент естественного размножения.

3. В ходе эксперимента был выявлен сорт с высоким коэффициентом естественного размножения – ‘Lady Derby’.

4. Для получения луковиц первого и экстра-разборов у сортов ‘Carnegie’, ‘Marie’, ‘Lady Derby’, ‘Madam Sophie’ и ‘Eros’ рекомендуется культивировать луковицы второго и третьего разборов в течение двух лет без ежегодной выкопки.

## Список литературы

1. Баранова М. В. Гиацинт. М.-Л.: Наука, 1965. 122 с.
2. Зайцева Е. Н. Гиацинты в Главном ботаническом саду // Бюл. Глав. ботан. сада. 1961. Вып. 40. С. 27.
3. Лях, В.М. Гиацинты (*Hyacinthus orientalis* L.) в открытом грунте (Сроки посадки, зимовка) // Биоресурсы, биотехнологии, экологически безопасное развитие агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 40. Сочи, 2007. С. 138-149.
4. Мерзлякова Н. В., Федулова И. С. Гиацинты. Агротехника для Северо-Запада // Цветоводство. 1981. № 2. С. 19-20.
5. Рыженкова, Ю.И. Сравнительный анализ размножения сортов *Hyacinthus* × *hybridus* hort. методом препарирования луковиц // Цветоводство: история, теория, практика: материалы VII междунар. науч. конф. Минск, 2016. С. 374-375.
6. The Royal Horticultural Society [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rhs.org.uk/>.

## INFLUENCE OF AGROTECHNICAL ACTIONS ON THE PRODUCTIVITY OF *HYACINTHUS ORIENTALIS* BULBS

*Okach Maria Aleksandrovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The article presents the dynamics of the formation of *Hyacinthus orientalis* bulbs with two-year cultivation without annual digging. During the work, varieties with a high coefficient of natural reproduction were identified. It has been established that the mass of small onions of all investigated varieties of *Hyacinthus orientalis* increases more intensively during two-year cultivation without annual digging. The varieties capable of increasing the mass of bulbs during cultivation without annual digging have been determined.*

**Keywords:** *Hyacinthus orientalis*, bulb weight, breeding factor, cultivation technique, introduction.

УДК 539.3: 534.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДИССИПАЦИИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

*Шлычков Сергей Владимирович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
shlychkovsv@volgatech.net

*Представлены результаты экспериментальных исследований динамического поведения образцов, изготовленных из различных пород древесины. Проведена серия опытов с образцами различных размеров и форм с целью определения их упруго-диссипативных свойств. Исследовано влияние лакового покрытия на декремент механических колебаний. Установлено, что диссипативные свойства древесины не одинаковы как по объему ствола, так и по частотной шкале. С увеличением частоты зафиксировано увеличение декремента. Обнаружено существенное различие в диссипативных свойствах древесного материала ядровой и заболонной зон.*

**Ключевые слова:** декремент колебаний, собственная частота, диссипативные свойства, спектр, амплитуда колебаний.

**Введение.** Механизмы рассеяния энергии механических колебаний в материалах и конструкциях до настоящего времени остаются мало изученными. Известны некоторые экспериментальные [1] и теоретические [2] подходы к решению этой проблемы для отдельных частных задач. Математическое моделирование данных явлений оказывается приближенным и недостаточно обоснованным. В связи с этим работы по созданию адекватных моделей демпфирования при моделировании сложных технических систем являются актуальными и востребованными.

**Описание эксперимента.** Для проведения экспериментальных исследований использована специальная установка [3]. Принципиальная схема устройства для анализа диссипативных свойств изображена на рисунке 1, а. Для передачи электромагнитного воздействия на немагнитный образец 1 использован металлический колпачок массой 0,5 г (2, рис. 1), плотно надетый на свободный конец образца. Другой конец образца закрепляется в станине с помощью зажимного устройства 3 (рис. 1, б). На электромагнитный датчик 4 подается гармонический сигнал звуковой платы компьютера 6.

С помощью электромагнитного датчика 5 сигнал от колеблющегося колпачка поступает на вход 6 и колебательный процесс отображается на экране монитора 7 посредством графопостроительной программы. При совпадении частоты вынуждающей силы с собственной частотой образца происходит возрастание амплитуды колебаний, которое фиксируется на мониторе 7. Имеется возможность варьировать частоту и величину вынуждающей силы (рис. 1, в). В случае прекращения подачи сигнала на электромагнитный вибратор 4 образец переходит в режим свободных затухающих колебаний (рис. 2). Дальнейший анализ полученной затухающей кривой позволяет делать выводы о диссипативных свойствах образца. Определяются величины амплитуд колебаний ( $A_1$  и  $A_{11}$ ) по виброграмме, представленной на рисунке 2.

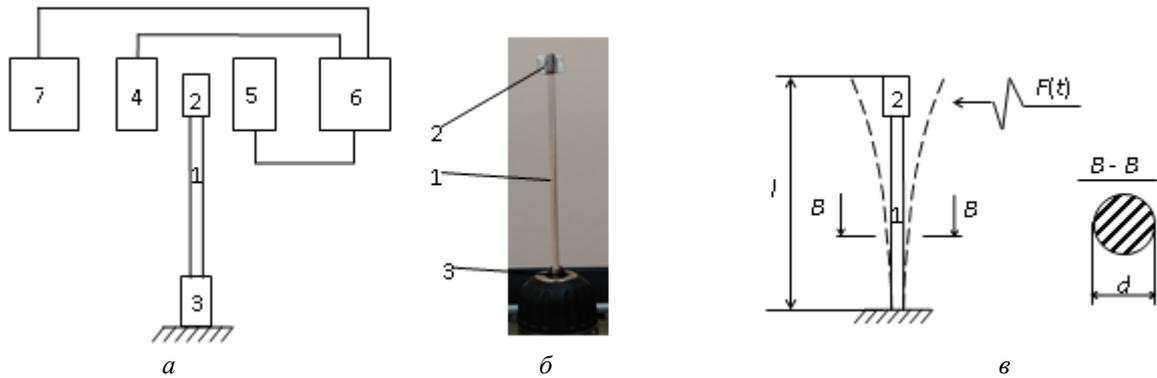


Рис. 1. Установка для определения упруго-диссипативных свойств материалов (а); образец 1 с «колпачком» 2 (б); расчетная схема образца 1 с «колпачком» 2 (в)

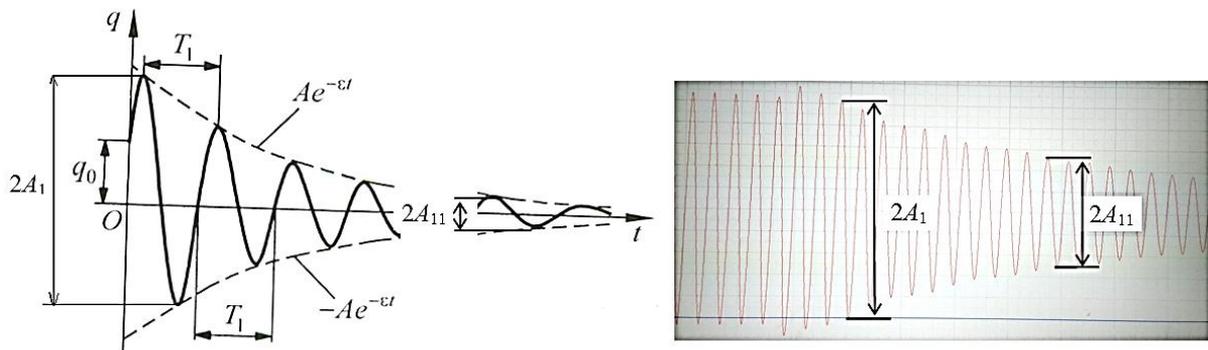


Рис. 2. График затухающих колебаний

С помощью представленных формул определяется декремент колебаний  $\Delta = \frac{1}{d}$ ;

$d^{k-1} = \frac{A_k}{A_1}$ ;  $k = 11$ . Здесь  $k$  – это количество условных периодов затухающих колебаний,

в течение которых измеряется декремент. Величину  $k$  следует принимать достаточно большой для уменьшения погрешности измерений.

Таким образом, были исследованы упруго-диссипативные характеристики образцов, изготовленных из разных пород, имеющих различные размеры и обладающие разной степенью кривизны, а также проанализировано влияние лакового покрытия.

**Влияние размеров образца.** Использовано два геометрически одинаковых образца длиной 180 мм и диаметром 5 мм, вырезанных вдоль волокон древесины таким образом, что ядровая зона дерева соответствовала центру поперечного сечения образца (рис. 3). Они последовательно исследованы посредством прибора [3]. При этом амплитудное значение гармонической вынуждающей силы изменялось. Она имела значения:  $0,2F_{\max}(t)$ ,  $0,6F_{\max}(t)$ ,  $F_{\max}(t)$ . Для каждого случая определялся декремент.

После первой серии экспериментов диаметр образцов уменьшили, равномерно снимая материал с его поверхности до 4 мм, и провели вторую серию испытаний. Затем диаметр уменьшили до 3 мм и эксперименты повторились в третий раз для каждого образца.

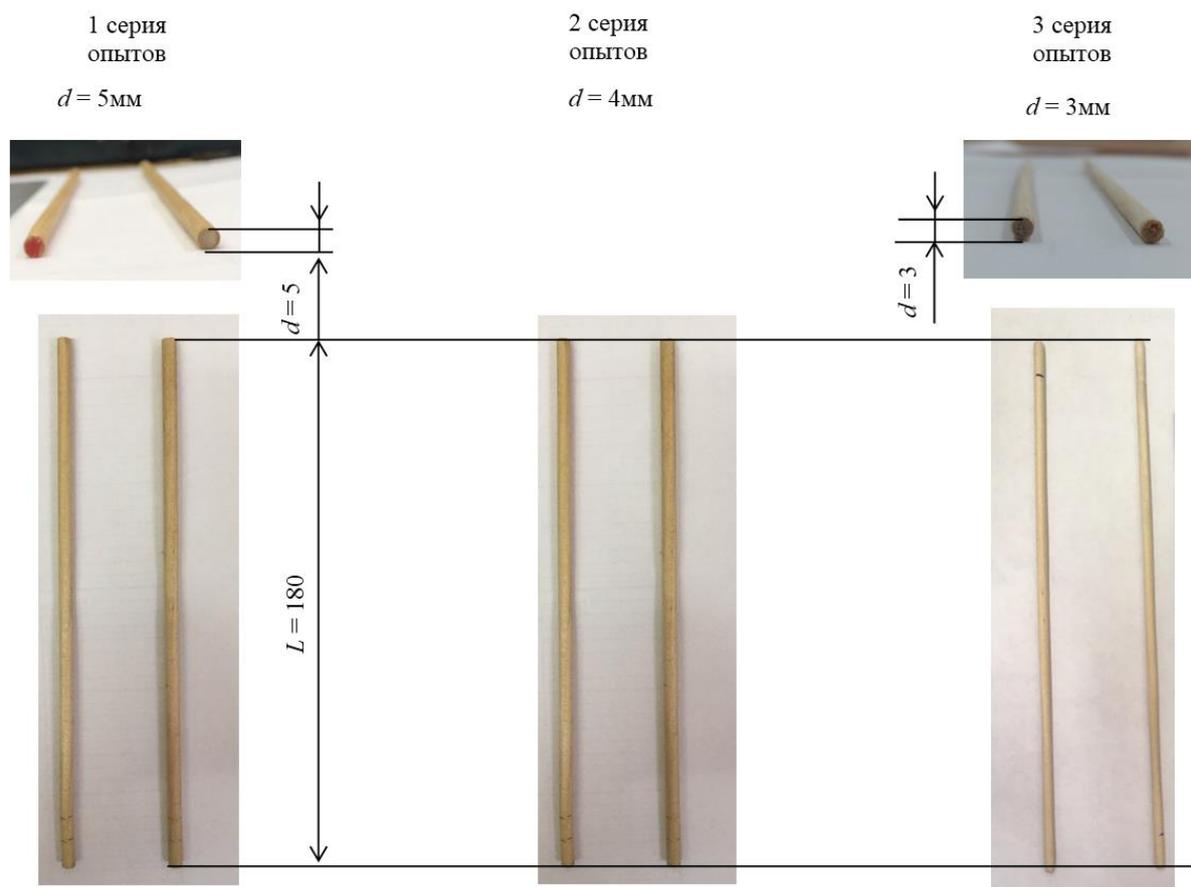


Рис. 3. Образцы для испытаний

Очевидно, что на каждом шаге содержание заболонной древесины в теле образца становилось меньше. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Интенсивность силового воздействия	Образец 1			Образец 2		
	вес, г			вес, г		
	2,3	1,68	0,93	2,77	1,85	1,03
	диаметр поперечного сечения, мм			диаметр поперечного сечения, мм		
	5	4		5	4	3
20 %	1,14	1,17	1,07	1,19	1,17	1,03
60 %	1,29	1,16	1,06	1,26	1,11	1,03
100 %	1,31	1,18	1,04	1,22	1,14	1,03
Δср	1,25	1,18	1,06	1,22	1,14	1,03

Анализ приведенных в таблице 1 данных позволяет сделать следующие выводы. Диссипативные свойства древесины неодинаковы по объему тела. Высокое содержание заболонной древесины в конструкции увеличивает ее поглощающую способность. У тонких образцов, изготовленных из древесного материала с преимущественным содержанием ядровой зоны, декремент колебаний получается на 20 % ниже. Этот эффект не зависит от величины амплитуд колебаний (от интенсивности силового воздействия).

Таким образом, для конструкций из древесины следует использовать модель амплитудно-независимого демпфирования.

С целью проверки сделанных выводов о неоднородности диссипативных свойств в древесном теле проведена следующая серия экспериментальных исследований. Использовано три образца одинаковой длины, но различного диаметра (рис. 4). При этом все образцы изготовлены из веток ели, которые росли на одной высоте с северной стороны одного дерева. Диаметр образца № 1 составляет 5,5 мм, образца № 2 – 4,5 мм, образца № 3 – 3,8 мм.

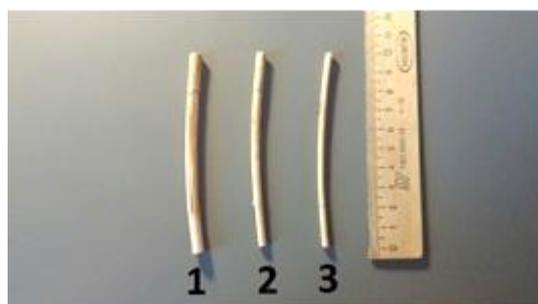


Рис. 4. Образцы для испытаний, изготовленные из веток

Установлено, что декремент механических колебаний образцов зависит от их поперечных размеров. У образца № 1 он составляет 1,07, № 2 – 1,054, № 3 – 1,052.

Таким образом, сформулированные выше выводы о неоднородности диссипативных свойств древесного материала подтверждаются. Характеристики рассеяния энергии колебаний меняются в зависимости от возраста древесины, от толщины годичных слоев.

**Оценка упругих свойств.** Для проверки зависимости модуля Юнга древесины от расположения древесном теле использованы образцы, представленные на рисунке 3. По экспериментально зафиксированной низшей собственной частоте образцов посредством методики [3] определен модуль упругости древесины. Для этого использовано известное соотношение для низшей собственной частоты, полученное методом Рэлея для консольного образца с сосредоточенной массой на свободном конце (см. рис. 1, в).

$$f_1 = \sqrt{\frac{3EI}{ml^3 + \frac{33}{140}m_0l^4}}. \quad (1)$$

Здесь  $I$  – момент инерции поперечного сечения образца,  $m$  – масса колпачка,  $m_0$  – погонная масса, рассчитываемая для конкретного образца. Обладая сведениями по частоте колебаний и размерам образца, из формулы (1) получаем выражение для модуля упругости

$$E = \frac{f_1^2 \cdot l^3 \cdot (m + 0,24m_0l)}{3 \cdot I}. \quad (2)$$

Результаты оценки упругих свойств образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Оценка упругих свойств образца**

Упругие свойства			
№ образца	Диаметр образца, мм		
	5	4	3
Собственные частоты, Гц			
1	88	69	40
2	72	55	43
Модуль упругости, ГПа			
1	16	20	18
2	12	14	13

Видно, что величина модуля упругости не зависит от размеров образца, она практически не меняется с изменением размера сечения. Следовательно, упругие свойства проявляют однородность и существенно не зависят от содержания поздней или ранней древесины в конструкции, в отличие от декремента колебаний.

**Влияние лакового покрытия.** Одним из средств борьбы с колебаниями упругих конструкций служат специальные покрытия, способные к интенсивному поглощению энергии колебаний [4].

Настоящее исследование посвящено анализу влияния шеллака (Shellak) на параметры механических колебаний образцов из древесины. Шеллак получают из гуммилака, представляющего собой смолу, образующуюся на ветвях тропических растений вследствие укуса особого насекомого, которое, перерабатывая сок в своем организме, выделяет его в виде смолы, называемой гуммилаком.

Наиболее распространенное применение шеллака – в качестве лака и политуры для мебели. Лак-шеллак используют также для покрытия деревянных корпусов уникальных музыкальных инструментов. В Индии – для лакировки и отделки декоративных изделий (бус, браслетов). Обесцвеченный лак-шеллак применяется для защиты картин и икон. В число достоинств этого метода входит его обратимость. Лак легко снимается с картины при необходимости.

Исследования проведены на стержневых образцах, изготовленных из древесины ели. На рисунке 2, а представлены исследуемые образцы, не обработанные лаком. Они имеют длину 90 мм и диаметр 3 и 4 мм. В результате серии экспериментов получен ряд виброграмм, которые были обработаны для вычисления декремента колебаний и резонансных частот. Сначала использованы образцы без покрытия, затем те же образцы, покрытые двумя слоями лака.

Установлено, что образец диаметром 3 мм без покрытия имел декремент колебаний  $\Delta = 1,2$ . После нанесения лака величина декремента составила  $\Delta = 1,1$ . Для образца диаметром 4 мм получено  $\Delta = 1,1$  и  $\Delta = 1,09$  соответственно.

Таким образом, готовый лак-шеллак дает тонкий твердый гладкий слой природного полимера, который хорошо полируется до глянцевого блеска. Покрытие достаточно

пластичное, прочное, при механических воздействиях на древесину, покрытую лаком, оно не скалывается с поверхности образца, а изгибается вместе с ним.

Лак-шеллак отличается высокой адгезией, создавая слой, жестко связанный с поверхностью древесины. В результате данное покрытие способно менять упруго-диссипативные свойства образца. Это особенно заметно в случае с тонкими образцами, когда содержание лакового покрытия по отношению к древесине выше. Очевидно, такого же эффекта можно добиться, увеличивая количество слоев лака для более массивных образцов.

#### Список литературы

1. Бернс В. А., Жуков Е. П., Маринин Д. А. Идентификация диссипативных свойств конструкций по результатам экспериментального модального анализа // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2016. № 4 (109). С. 4-23.
2. Димитриенко Ю. И., Губарева Е. А., Яковлев Д. О. Асимптотическая теория вязкоупругости многослойных тонких композитных пластин // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 10. С. 359-382.
3. Шлычков С. В. Методика оценки упруго-диссипативных характеристик материалов / Механика композиционных материалов и конструкций сложных и гетерогенных сред: сб. мат. Всерос. науч. конф. (Москва, 2015 г.). М.: ИПРИМ РАН, 2015. С. 311-313.
4. Пановко Я. Г., Губанова И. И. Устойчивость и колебания упругих систем. М.: Наука, 1987. 352 с.

#### INVESTIGATION OF ENERGY DISSIPATION MECHANISM FOR WOOD CONSTRUCTIONS

*Shlychkov Sergey Vladimirovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Presents the results of experimental research of dynamic behavior of specimens made from different wood species. A series of experiments with samples of various sizes and shapes to determine their elastic-dissipation properties. The influence of the lacquer on the decrement of mechanical vibrations. It has been established that the property is not the same as wood dissipative both on volume and stem on the frequency scale. With increasing frequency fixed increase of the decrement. Found a significant difference in dissipative properties of wood material sound and zabolonnoj zone.*

**Keywords:** *decrement, eigenfrequency, dissipative properties, spectrum, amplitude.*

# РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.891

## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

*Иванов Константин Олегович<sup>1</sup>, Севастьянов Виктор Викторович<sup>1,2</sup>,  
Фурман Яков Абрамович<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

<sup>2</sup>ГБУ РМЭ Центр патологии речи и нейрореабилитации, г. Йошкар-Ола

krtmbs@volgatech.net

*Рассмотрены архитектура и взаимодействие элементов специализированного программного обеспечения, предназначенного для формирования клинических заключений по электроэнцефалограмме (ЭЭГ) в автоматическом режиме. Для автоматизации процесса анализа ЭЭГ предложена ее новая контурная математическая модель, а также структурный подход к распознаванию всей эпохи ЭЭГ, содержащей разнородные паттерны.*

**Ключевые слова:** *вторичная обработка, компьютерная электроэнцефалограмма, контурный анализ, производный элемент, паттерн, первичная обработка, сегмент, сегментация ЭЭГ, структурный подход.*

**Введение.** Мозг человека генерирует колебания электрических потенциалов в виде квазистационарных ритмов разной частоты. Зарегистрированные на поверхности головы человека, эти потенциалы – электроэнцефалограмма (ЭЭГ) служат объективным показателем работы его мозга. Такие патологии, как воспаления и нейроинфекции, черепно-мозговые травмы, мозговые инсульты, эпилепсия, опухоли отражаются на поведении и параметрах ЭЭГ [1].

С момента появления метода ЭЭГ по настоящее время основным способом ее интерпретации является визуальный анализ, выполняемый опытным врачом-клиницистом путем вербального описания формы колебаний. Визуальный анализ достаточно трудоемкий, а его результаты субъективны. Здесь используются способности врача к запоминанию колебаний, их визуальной оценке, сравнению и распознаванию форм.

От недостатков визуального анализа свободны методы компьютерного анализа ЭЭГ (кЭЭГ). Под кЭЭГ понимается совокупность методов и средств съема сигналов ЭЭГ и их анализа с использованием современных вычислительных средств [2, 3].

Наиболее объемным и важным подразделом кЭЭГ служат методы частотного (спектрального) анализа [2]. Однако графоэлементы ЭЭГ отличаются друг от друга не только значениями своих периодов, но и размахами потенциалов. Поэтому содержащаяся в них информация зависит не только от частоты колебания, но и от размаха, регистрируемого в разные моменты времени потенциала. Как следует из [1], вопросы измерения амплитуды колебаний находятся за пределами концепции кЭЭГ. Эта задача решается в интерактивном режиме по маркеру, указанному оператором (рис. 1). Несмотря на широкое применение технологии ЭЭГ для функционального контроля работы центральной нервной системы, существует ряд проблем, связанных с увеличением ее эффективности. Такой проблемой является проблема автоматической классификации (распознавания) ЭЭГ.

**Цель исследования** – разработка методов и архитектуры программного обеспечения для автоматического распознавания ЭЭГ.

**Решаемые задачи:** 1) разработка новой математической модели ЭЭГ сигнала, позволяющей получать объективные количественные признаки форм элементов ЭЭГ;

2) разработка алгоритма декомпозиции ЭЭГ;

3) определение информативных признаков элементов ЭЭГ для их автоматической классификации;

4) разработка программы для классификации ЭЭГ с использованием структурного подхода.

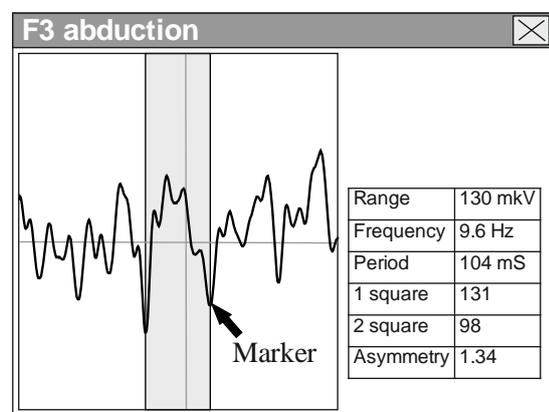


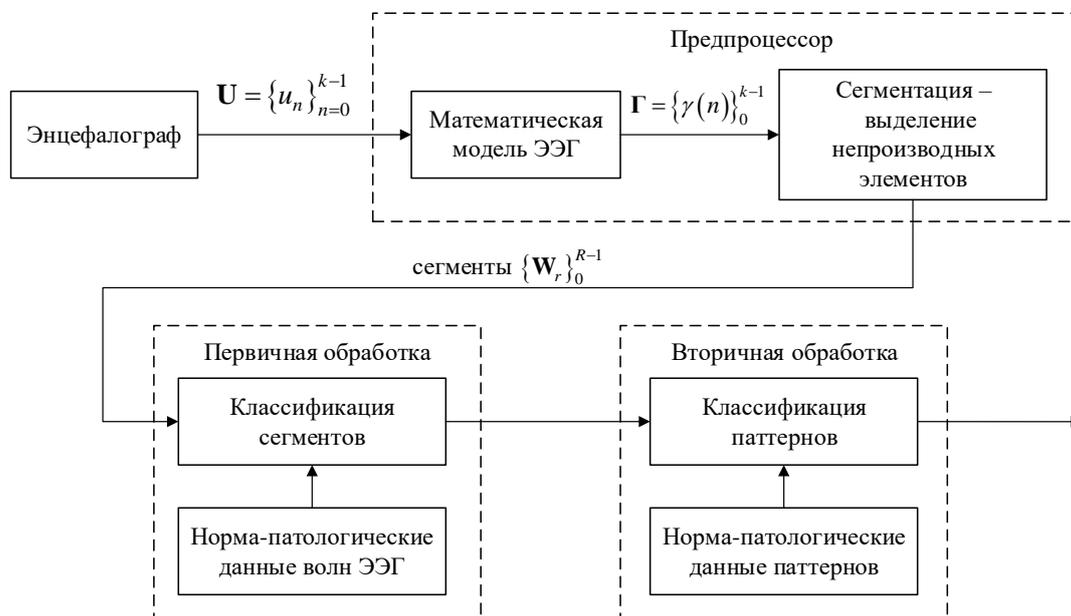
Рис. 1. Пример измерения размаха потенциала в заданный момент времени

**Математическое моделирование.** Проблема автоматической классификации ЭЭГ может быть решена с помощью структурного (синтаксического) подхода. Он заключается в том, что распознаваемый образ (ЭЭГ) строится соединением простых подобразов – непроизводных элементов [4]. Форма волны, ее длительность и размах, а также временное положение в пределах ЭЭГ являются информативными признаками непроизводного элемента [5]. При таком подходе произвольная ЭЭГ представляет собой упорядоченную последовательность пронумерованных непроизводных элементов в виде волн. Если текущую  $n$ -ую волну обозначить через  $W_r$ ,  $r = 0, 1, \dots, k-1$ , то вся ЭЭГ  $G$  в аналитическом виде может быть представлена как конкатенация ее пронумерованных волн:

$$G = W_0 \oplus W_1 \oplus \dots \oplus W_{R-1}, \quad (1)$$

где  $R$  – количество волн в составе ЭЭГ, а  $\oplus$  – обозначение операции конкатенации волн. При структурном подходе каждая ЭЭГ  $G$  представляется множеством ее непроизводных элементов (сегментов)  $\{W_r\}_0^{R-1}$ , последовательно примыкающих друг к дру-

гу. Система автоматической классификации при такой интерпретации ЭЭГ содержит предпроцессор, устройство первичной обработки УПО и устройство вторичной обработки УВО (рис. 2).



**Рис. 2. Система автоматической классификации ЭЭГ на основе структурного метода для поддержки врача**

Предпроцессор системы состоит из формирователя математической модели  $\Gamma = \{\gamma(n)\}_0^{k-1}$  и устройства сегментации ЭЭГ  $\mathbf{G}$ . Сигналы  $\{u(n)\}_0^k$  с выхода энцефалографа представляют собой продискретизированные с интервалом  $t_0$  отсчеты ЭЭГ. Для получения в непрерывном виде колебания ЭЭГ отсчеты  $u_n$ ,  $n = 0, 1, \dots, k-1$ , интерполируются. На рисунке 3 показан результат  $\Gamma = \{\gamma(n)\}_0^{k-1}$  линейной интерполяции этих отсчетов. Математическая модель  $\Gamma = \{\gamma(n)\}_0^{k-1}$  имеет вид последовательности элементарных векторов (ЭВ)

$$\gamma(n) = u(n+1) - u(n), \quad n = 0, 1, \dots, k-1, \quad (2)$$

образованных двумя последними отсчетами потенциала [6]. Математическая модель (2) описывает *контур* изображения ЭЭГ и позволяет получать не только информацию о форме колебания, но и, сегментируя участки контура между соседними минимумами, выделять волны – производные элементы  $\mathbf{W}_r$ ,  $r = 0, 1, \dots, R-1$ , ЭЭГ.

Процедуру сегментации выполняет второй узел предпроцессора (рис. 3). Один из подходов к сегментации рассмотрен в [7, 8]. Устройство первичной обработки УПО решает задачу автоматической классификации (распознавания) сегментов. На его вход поступает вектор сегментов  $\mathbf{W} = \{\mathbf{W}_r\}_{r=0}^{R-1}$ , где  $\mathbf{W}_r = \{\gamma_r(n)\}_0^{k_r-1}$ . Здесь  $R$  – количество

сегментов, а  $K_r$  – размерность текущего сегмента, равная количеству составляющих его ЭВ  $\gamma_r(n)$ . Далее на основании разработанных алгоритмов вычисляются энергетические, частотные и временные информативные признаки каждого из сегментов  $W_r$ . Подробное описание алгоритмов вычисления информативных признаков форм сегментов ЭЭГ представлено в работе [5]. Набор этих признаков сравнивается с их норматологическими значениями для сегментов, и по результатам сравнения сегмент относят к одному из трех классов: нормальный, пограничный и патологичный.

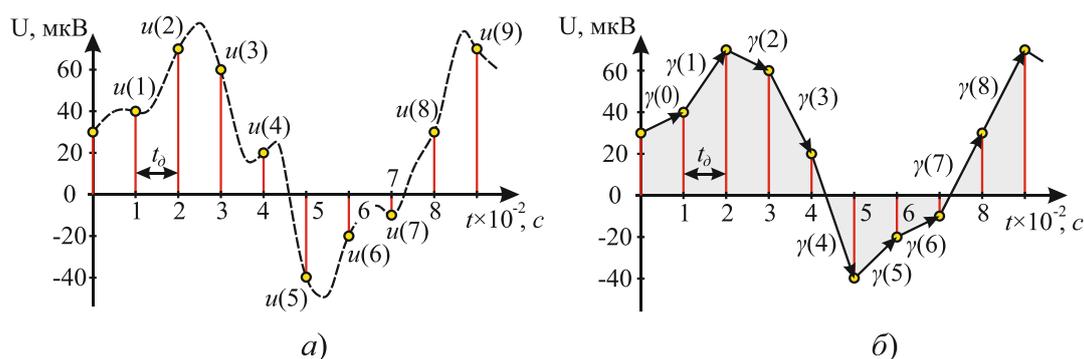


Рис. 3. К получению дискретной контурной модели ЭЭГ: а) непрерывный сигнал  $u = f(t)$ ,  $t = 0, 1, \dots, 9$ ; б) аппроксимирующая ЭЭГ векторная последовательность  $\Gamma = \{\gamma(n)\}_0^k$

Устройство вторичной обработки УВО формирует результаты анализа ЭЭГ. На его вход подается последовательность непродеривированных элементов в виде распознанных УПО сегментов  $W_r$ ,  $r = 0, 1, \dots, R-1$ . В процессе своей работы УВО из этой последовательности выделяет «слова» комплексы (феномены, паттерны). Под комплексом понимают цепочку из двух и более волн (сегментов), являющихся информативным признаком процессов в центральной нервной системе человека [1, 2]. Например, комплекс Веретено в виде цепочки колебаний, близких по форме к синусоидальным и частотой порядка 10 Гц, характерен для ЭЭГ бодрствующего здорового человека.

**Техника эксперимента.** Для доказательства целесообразности использования предлагаемых подходов на языке программирования C++ были реализованы алгоритм сегментации ЭЭГ и алгоритмы классификации сегментов ЭЭГ на основе количественных признаков их форм. Интерфейс разработанной программы представлен на рисунке 4. Пользователь имеет возможность выбрать интересующий его фрагмент ЭЭГ (эпоху), после чего программа осуществляет его сегментацию и формирует проект медицинского заключения, содержащего информацию о паттернах в составе анализируемой эпохи ЭЭГ.

Оценки вероятностей правильной сегментации волн ЭЭГ составили 0,91; 0,94; 0,98; 0,98 для электроэнцефалограмм с доминированием в  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  частотных диапазонах соответственно. Для их получения из открытой базы данных ЭЭГ, находящейся по адресу <https://physionet.org/pn4/sleep-edfx/>, было сегментировано порядка 170 эпох ЭЭГ, содержащих 650 дельта-волн, 554 тета-волны, 740 альфа-волн, 588 бета-волн, из

которых было правильно сегментировано 592, 520, 722 и 576 волн соответственно. Правильность сегментации контролировалась тремя специалистами-неврологами.

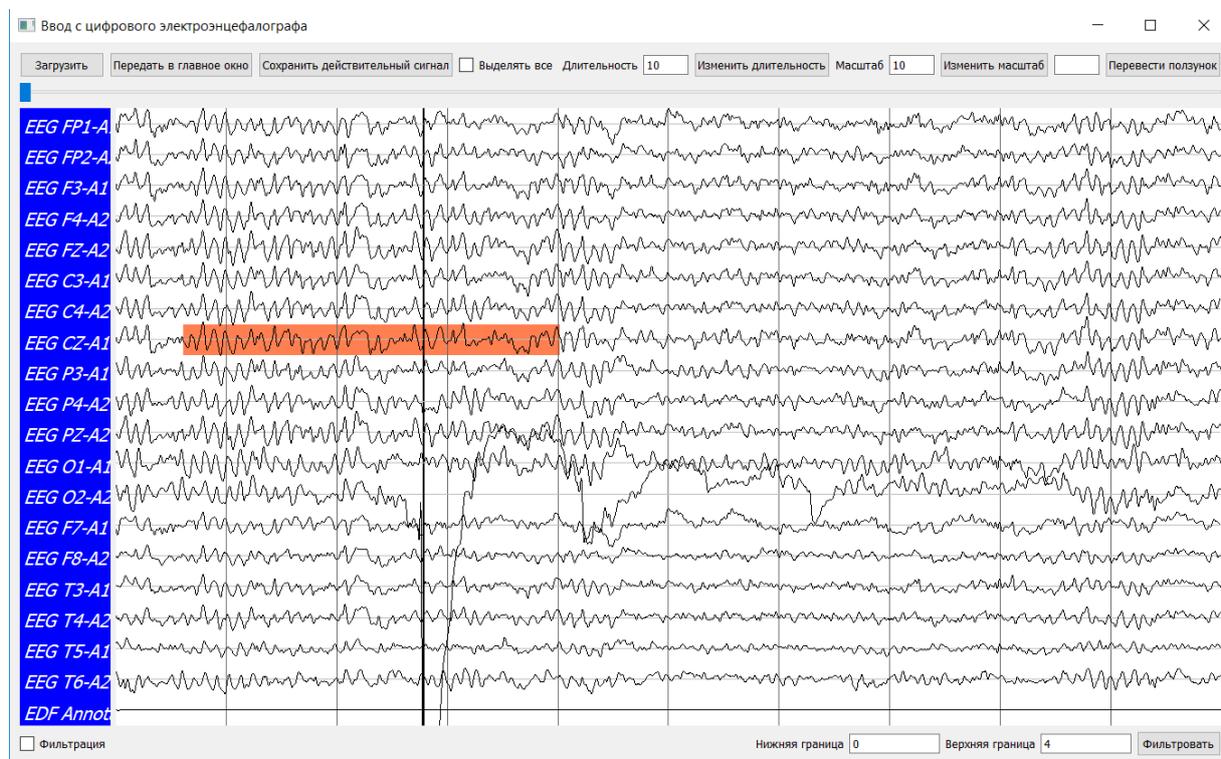


Рис. 4. Программа для выбора эпохи ЭЭГ и ее автоматизированного анализа

В соответствии с рекомендациями по визуальной методике анализа ЭЭГ, каждый сегмент в автоматическом режиме может быть классифицирован по степени патологической значимости как «норма», «элемент пограничной ЭЭГ» и «элемент патологической ЭЭГ». Также выполняется классификация сегментов по типу ЭЭГ феноменов: дельта-волна, тета-волна, альфа-волна, бета-волна, гамма-волна, спайк, острая-волна, «шлемовидная волна», спайк, пик. Интервалы значений информативных признаков для автоматической классификации элементов ЭЭГ были установлены путем анализа выборки, содержащей порядка 700 предварительно проклассифицированных врачами-неврологами сегментов.

Произведена сравнительная оценка результатов классификации эпох электроэнцефалограмм, выполняемая врачом-клиницистом с использованием разработанного программного обеспечения и без него. Для этого из нормативных баз данных записей ЭЭГ, расположенных в открытом доступе в сети Интернет по адресам: [www.isip.piconepress.com/projects/tuh\\_eeg/downloads/tuh\\_eeg\\_abnormal/v1.1.2/](http://www.isip.piconepress.com/projects/tuh_eeg/downloads/tuh_eeg_abnormal/v1.1.2/), [www.physionet.org/physiobank/database/chbmit/](http://www.physionet.org/physiobank/database/chbmit/) были сформированы две выборки эпох ЭЭГ. Обе выборки содержали по 147, 140 и 160 эпох нормальной, пограничной и ЭЭГ с патологией соответственно. В оценке участвовали три врача-клинициста. С первой выборкой каждый врач работал без использования программы, со второй – с использованием разработанного программного обеспечения. Испытания показали, что использо-

вание разработанных алгоритмов обработки ЭЭГ за счет предоставления врачу информации о типах паттернов ЭЭГ позволяет повысить достоверность правильной диагностики в среднем от 0,86 до 0,92 для нормальных ЭЭГ, от 0,81 до 0,88 – для пограничных ЭЭГ и от 0,9 до 0,98 – для ЭЭГ с патологией [9]. Это дает возможность сделать вывод о целесообразности использования предложенных подходов для анализа ЭЭГ. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку структурных методов анализа ЭЭГ, выполняющих ее классификацию на основе взаимного расположения классифицированных паттернов в различных отведениях.

### Выводы

1. Рассмотрены архитектура и взаимодействие элементов специализированного программного обеспечения, предназначенного для формирования клинических заключений по ЭЭГ в автоматическом режиме.
2. Для получения информативных признаков форм элементов ЭЭГ предложены алгоритм ее сегментации и новая контурная модель ЭЭГ.
3. Установлены диапазоны информативных признаков для автоматической классификации паттернов ЭЭГ.
4. Произведена сравнительная оценка результатов классификации ЭЭГ по результатам визуального анализа и с использованием предложенных алгоритмов. На выборке, состоящей из порядка 500 ЭЭГ, установлено, что использование предложенных подходов позволяет повысить достоверность диагноза для нормальных, пограничных и патологических ЭЭГ в среднем на 6, 7 и 8 % соответственно.

### Список литературы

1. Зенков Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей. 5-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2012. 356 с.
2. Кулаичев А. П. Компьютерная электрофизиология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 640 с.
3. Цыган В. Н., Богословский М. М., Миролюбов А. В. Электроэнцефалография / под. ред. М.М Дьяконова. СПб.: Наука, 2008. 192 с.
4. Furman Ya. A., Sevastyanov V. V. and Ivanov K. O. Modern problems of brain-signal analysis and approaches to their solution, *Pattern Recogn. Image Anal.* 29 (1), 99–119 (2019).
5. Фурман Я. А., Севастьянов В. В., Иванов К. О. Формирование информативных признаков для автоматической классификации электроэнцефалограмм // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2017. № 1(33). С. 38-50.
6. Контурная математическая модель электроэнцефалограммы / К. О. Иванов, Я. А. Фурман, В. В. Севастьянов, Р. Г. Хафизов, С. Н. Свинцов, А. В. Казаринов, С. А. Охотников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2015. № 2(26). С. 26-42.
7. Сегментация тонкой структуры электроэнцефалограммы / Я. А. Фурман, В. В. Севастьянов., К. О. Иванов А. В. Казаринов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 54, Часть 2. С. 56-67.
8. Furman Ya. A., Sevastyanov V. V. and Ivanov K. O. Contour analysis of a fine structure in an electroencephalogram, *Pattern Recogn. Image Anal.* 26 (4), 758–772 (2016).

9. Фурман Я. А., Севастьянов В. В., Иванов К. О. Анализ и классификация элементов ЭЭГ на базе контурной модели // XXXI Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы»: материалы конференции. Рязань, 2018. С. 198-204.

#### EEG ANALYSIS SOFTWARE ORGANIZATION PRINCIPLES

*Ivanov Konstantin Olegovich<sup>1</sup>, Sevastyanov Victor Victorovich<sup>1,2</sup>, Furman Yakov Abramovich<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

<sup>2</sup>The center of speech pathology and neurorehabilitation, Yoshkar-Ola

*The architecture and interaction of elements of specialized software designed to form clinical conclusions on EEG in automatic mode are considered. To automate the process of EEG analysis, a new contour mathematical model was proposed, as well as a structural approach to recognizing the entire EEG era containing heterogeneous patterns.*

**Keywords:** *secondary processing, computer EEG, contour analysis, non-derivative element, pattern, primary processing, segment, EEG segmentation, structured approach.*

УДК 621.865

#### БЛОК ФОРМИРОВАНИЯ РАЗДРАЖАЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ СБОРА ПЧЕЛИНОГО ЯДА «МУКШ 7»

*Лаврентьев Борис Федорович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
Lavreytevb@volgatech.net

*Описывается блок формирования раздражающих сигналов (ФРС), созданный в 2018 году в Поволжском государственном технологическом университете для системы сбора пчелиного яда «Мукиш 7», которая позволяет упростить процесс сбора пчелиного яда, многократно повысить производительность труда сборщиков этого ценного материала и обеспечить нашу фармацевтическую промышленность собственным сырьем для выпуска отечественных лекарственных препаратов. Приводятся результаты лабораторных испытаний блока формирования раздражающих сигналов.*

**Ключевые слова:** *пчелы; пчелиный яд; формователи раздражающих сигналов; лекарственные препараты; повышение рентабельности пчеловодства.*

**Введение.** Пчелиный яд является продуктом секреторной деятельности ядовитых желез пчелы, представляющим собой густую бесцветную жидкость с резким характерным запахом и горьким жгучим вкусом. Пчелиный яд входит в состав многих лекарственных препаратов и высоко ценится в медицинской практике. Цена пчелиного яда достаточно высока, и его сбор может значительно повысить рентабельность пчеловодства в условиях мировой конкуренции. Поэтому вопросам создания высокоэффективных средств сбора пчелиного яда во всех странах мира уделяется большое внимание.

В настоящее время пчелиный яд в нашей стране практически не собирается ввиду того, что в РФ серийно не выпускаются системы для сбора пчелиного яда. Поэтому предлагаемая система сбора пчелиного яда позволит организовать производство отечественных лекарственных препаратов и избавить нашу страну от импортной зависимости, что является одной из главных задач, поставленных нашим правительством, и одновременно позволит повысить рентабельность и продуктивность пчеловодства [1-6].

В настоящее время известно большое количество систем для сбора пчелиного яда (а.с. № 171982, № 1409172, № 1547104, № 1566523, № 1584853 и др.), которые включают в себя ядоприемники, размещаемые внутри улья, на которые подаются электрические сигналы определенной частоты и формы, служащие раздражителями для пчел. Под воздействием раздражительных сигналов пчелы жалят стекло в ядоприемнике, оставляя на нем яд. Далее стекло вынимают из ядоприемников и в лаборатории счищают с него яд. Такой метод не оказывает вредного воздействия на самих пчел [7-12].

*Основными недостатками всех существующих систем сбора яда являются:*

- наличие отдельного центрального прибора сбора пчелиного яда;
- наличие линий проводной связи с ульями, которые являются самыми ненадежными элементами систем и значительно ухудшают её эксплуатационные характеристики;
- снижение производительности труда сборщика яда, так как перед сеансом сбора яда необходимо установить на пасеке центральный прибор для сбора яда, проложить линии проводной связи до каждого улья, подключить ядоприемники в каждом улье и только после этого выбрать режим работы для всех ульев и включить режим сбора яда;
- невозможно установить для каждого отдельного улья свой режим работы;
- высокая стоимость системы из-за необходимости иметь центральный прибор для сбора пчелиного яда, линии проводной связи до каждого улья и наличие транспортных устройств для размещения прибора сбора яда, линий проводной связи и ядоприемников;
- трудности при работе системы, вызванные необходимостью перемещения центрального прибора для сбора пчелиного яда и линий проводной связи при переходе к новой группе ульев, что значительно усложняет работу сборщиков яда и снижает их производительность труда.

*Указанные недостатки были устранены в 2018 году в новой системе сбора пчелиного яда «МУКШ 7», в которой:*

- исключены все линии проводной связи между центральным прибором и ульями;
- исключен сам центральный прибор для сбора пчелиного яда;
- для каждого улья используются индивидуальные блоки формирования раздражающих сигналов (ФРС) с высоким КПД, построенные на базе широтно-импульсного модулированного преобразователя напряжения (ШИМ), позволяющего получить высоковольтное напряжение заданной формы без силовых трансформаторов, с использованием аккумуляторных батарей напряжением от 3 до 12 вольт, обеспечивающих длительную работу системы сбора пчелиного яда «Мукш 7» без подзарядки [13, 14].

Система сбора яда «Мукш 7» содержит одно транспортное устройство, в котором размещаются пять блоков формирования раздражающих сигналов для сбора пчелиного яда, десять ядоприемников и ячейка для инструмента. Система одновременно обслуживает до 5 пчелиных ульев.

**Основной целью** настоящей работы является создание блока формирования раздражающих сигналов, размещаемого в каждом улье, отличающегося высокой надежностью, минимальной стоимостью и хорошими эксплуатационными характеристиками.

В процессе работы над проектом были реализованы **следующие задачи:**

- проведен патентный и информационный поиск по теме проекта [15-20];
- разработаны структурная, принципиальная схемы и конструкция блока ФРС;
- проведено макетирование отдельных электрических схем блока ФРС;
- изготовлен блок ФРС, проведена его настройка и испытание в лабораторных условиях;
- подготовлена техническая и эксплуатационная документация на блок ФРС.

На рисунке 1 представлена структурная схема блока ФРС, на рисунке 2 приведена его принципиальная электрическая схема, а на рисунке 3 показана конструкция блока.

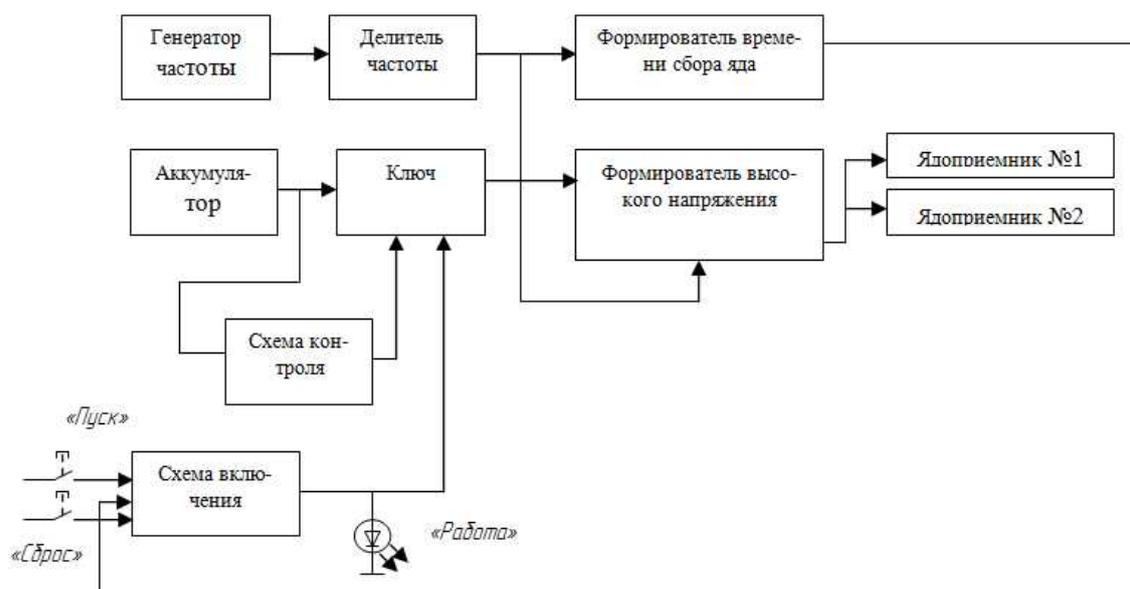


Рис. 1. Структурная схема блока формирования раздражающих сигналов (ФРС)

Блок ФРС содержит генератор частоты, делитель частоты, формирователь времени сбора яда, схему включения с клавишами «Пуск» и «Сброс», аккумулятор со схемой контроля, формирователь высокого напряжения с резистивной матрицей и мультивибратором с частотой около 100 кГц, выходы которого через разъемы подключены на входы ядоприемников.

Формирователь высокого напряжения, представляющий собой ШИМ преобразователь, формирует высокое напряжение, которое поступает на ядоприемники и изменяется с интервалом 30 секунд в пределах от 20 до 60 вольт с паузами. Изменение амплитуды

ды выходного напряжения происходит за счет изменения обратной связи в формирователе высокого напряжения. Такой режим позволяет увеличить отбор яда у пчел за счет исключения привыкания пчел к раздражающим сигналам. Формирователь высокого напряжения выполнен на микросхеме К34063 А, которая отличается высокой надежностью и высоким КПД. Блок формирования раздражающих сигналов имеет небольшие размеры, минимальный потребляемый ток, высокий КПД, обеспечивает выходное напряжение более 100 вольт при входном напряжении от 3 до 12 вольт и имеет защиту выходного тока от короткого замыкания в ядоприемниках.

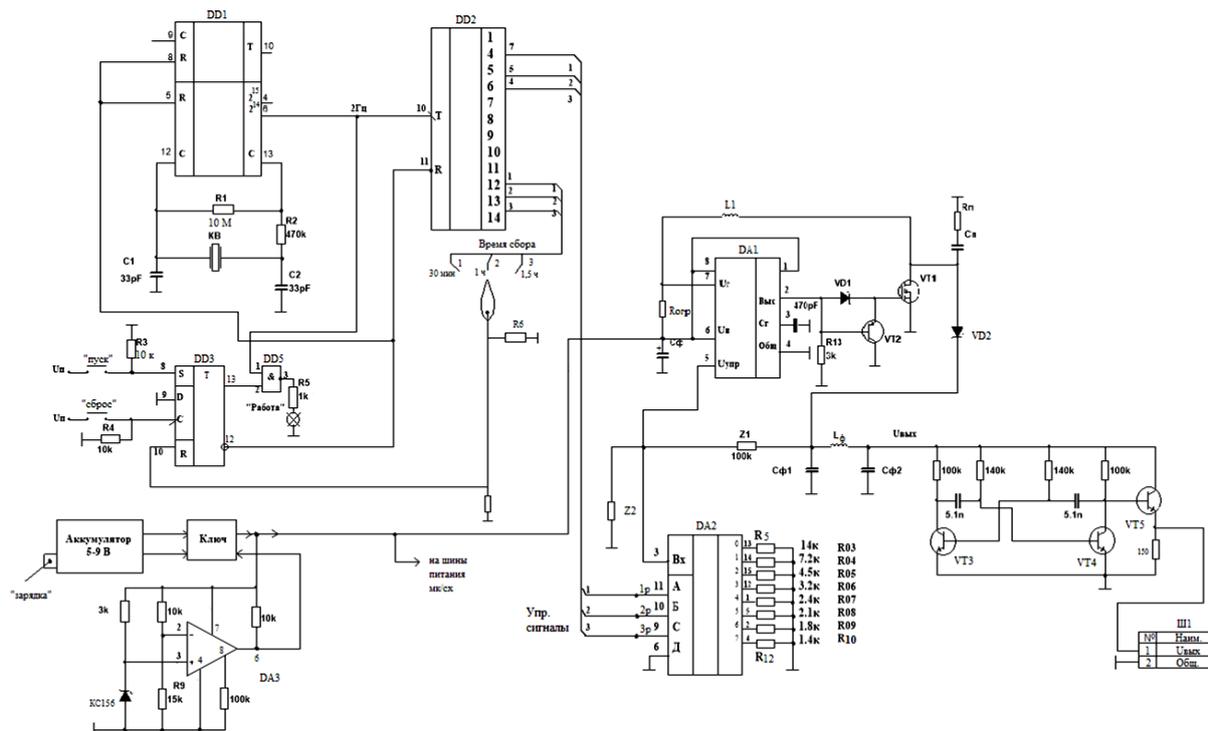


Рис. 2. Принципиальная схема блока формирования раздражающих сигналов

Генератор частоты и делитель частоты выполнены на микросхеме ДД 1 К176 ИЕ 12, формирователь времени сбора яда построен на микросхеме ДД 2 К561 ИЕ16, схема включения выполнена на триггере ДД 3 К561 ТМ 2, схема контроля аккумулятора выполнена на операционном усилителе ДА 3 К140 УД 5, формирователь высокого напряжения выполнен на широтно-импульсном преобразователе ДА1 К 34063А и аналоговым коммутаторе ДД2 К561 КП2. В состав формирователя высокого напряжения входит также триггер, выполненный на высоковольтных транзисторах V3 и VT4 КТ940А. Формирователь высокого напряжения выдает высокое напряжение на триггер, с выхода которого импульсные сигналы через эмиторный повторитель VT5 поступают на ядоприемники.

При включении блока постоянное напряжение питания поступает через ключ на шины питания всех микросхем и на вход формирователя высокого напряжения ДА1.

Повышение напряжения происходит за счет появления самоиндукции в индуктивности  $L_1$ . Резистор  $R_{огр}$  защищает схему от коротких замыканий. Резисторы  $Z_1$  и  $Z_2$  совместно с коммутатором ДА2 и резистивной матрицей определяют напряжение обратной связи, от которого зависит величина выходного напряжения  $U_{вых}$ :

$$U_{вых} = 1,25 (1 + Z_1) / R_{обр},$$

где  $R_{обр} = Z_2 \parallel R_{обр}$ ,  $R_{обр}$  – сопротивление резистивной матрицы.

Если резистор  $Z_2$  выбирается высокоомным, то он практически не влияет на величину выходного напряжения и только защищает схему от помех при переключении коммутатора ДА2. Сигналы управления выходным напряжением со счетчика ДД 2 поступают на коммутатор ДА 2 в виде двоичного кода и изменяют величину обратной связи, а следовательно, изменяется выходное напряжение на ядоприемниках.

В качестве мощного транзистора VT 1 использован полевой транзистор с изолированным индуцированным затвором КП501А с напряжением  $U_{СИ} > 200$  В и током  $I_C > 5$  А. Диоды Шоттки VD 1 и VD 2 и емкости СФ 1 СФ 2 также должны иметь обратное напряжение не менее 200 вольт. Для уменьшения входной емкости полевого транзистора VT 1 к его затвору подключен транзистор VT 2.

Одним из важных параметров источника является его КПД, который, как показали лабораторные испытания, зависит от добротности индуктивности  $L_1$ .

Конденсатор  $C_{п}$  и резистор  $R_{п}$  снижают КПД на 2-3 %, но это вполне допустимо, так как делает работу источника более устойчивой и надежной.

В схеме использованы типовые недорогие элементы. Полевой транзистор с изолированным затвором, диоды Шоттки и электролитические конденсаторы на выходе ШИМ имеют обратное напряжение не менее 200-300 вольт.

Блок формирования раздражающих сигналов для сбора пчелиного яда работает следующим образом: на пасеке в улей, подготовленный для сбора пчелиного яда, устанавливаются ядоприемники, которые через разъемы подключаются к блоку формирования раздражающих сигналов. На передней панели блока переключателями времени сбора яда устанавливается время сбора яда и режим работы. Затем нажимается кнопка «Пуск», загорается индикация «Работа» и через ключ напряжение поступает на питание микросхем и формирователь высокого напряжения. При этом разрешается работа генератора частоты и делителя частоты ДД1. Импульсы с выхода ДД1с частотой 2 Гц поступают на счетчик ДД2, формируют код, поступающий на коммутатор ДА2. При этом меняется величина сопротивления в обратной связи в формирователе высокого напряжения, а следовательно, ступенчато через каждые 30 секунд в пределах от 20 до 60 вольт изменяется выходное напряжение на ядоприемниках. Такой режим позволяет повысить количество яда, отдаваемое пчелами.

В качестве элементной базы используются микросхемы КМОП структуры, которые отличаются минимальной потребляемой мощностью и широким интервалом питающих напряжений, что обеспечивает блоку высокую надежность. Общий потребляемый ток

блока не превышает 10-15 мА, что при емкости аккумулятора в 1 А/ч обеспечивает время работы порядка 50-80 часов до подзарядки.

Блок-формирователь раздражающих сигналов для сбора пчелиного яда выполнен в герметизированном корпусе (рис. 3). Органы управления выведены на переднюю крышку прибора. На боковую сторону корпуса выведены разъемы для подключения ядоприемников и один разъем для подключения к устройству подзарядки.

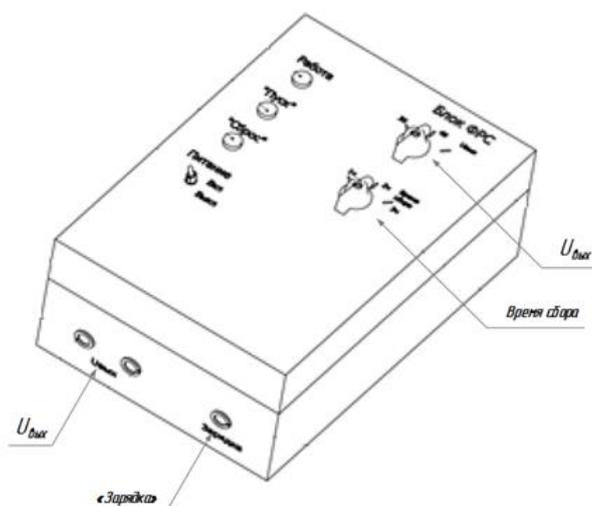


Рис. 3. Общий вид блока ФРС

Блок-формирователь раздражающих сигналов изготовлен и прошел лабораторные испытания. Для обеспечения высокого КПД (более 92 %) в схеме использована индуктивность  $L1 = 220$  мк.Гн на ферритовом сердечнике с омическим сопротивлением менее 0,03 Ома.

В процессе работы были сняты графические зависимости выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  на ядоприемниках в зависимости от кода  $N_{\text{КОД}}$ , поступающего на коммутатор ДА2, и зависимость  $U_{\text{ВЫХ}}$  от тока нагрузки  $I_{\text{наг}}$  (рис. 4).

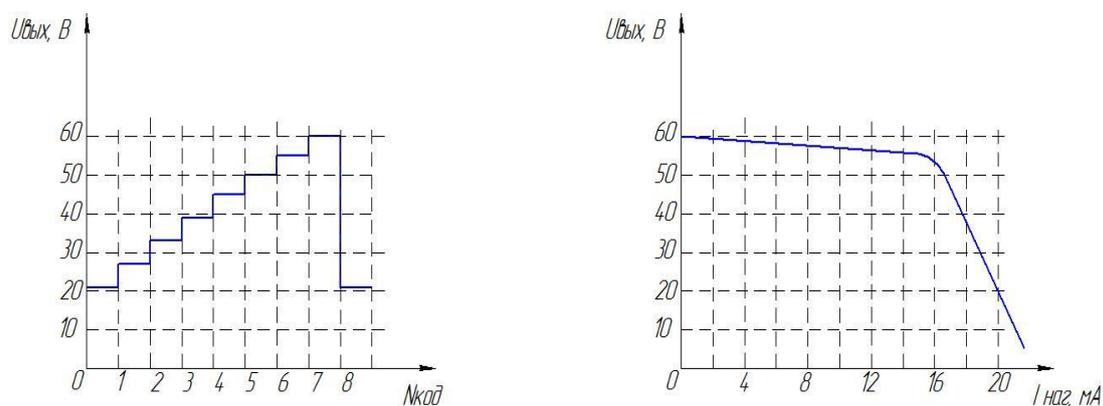


Рис. 4. Графические зависимости  $U_{\text{ВЫХ}} = (N_{\text{КОД}})$  и  $U_{\text{ВЫХ}} = (I_{\text{наг}})$

Из графиков видно, что при изменении кода, поступающего на коммутатор ДД2, напряжение на ядоприемниках изменяется скачкообразно на заданную величину, кото-

рая определяется элементами обратной связи. Напряжение на ядоприемниках U<sub>вых</sub> при токах, превышающих допустимое, например, при коротких замыканиях, резко падает. Допустимый ток устанавливается резистором R ОГР.

**Заключение.** Предлагаемый блок формирования раздражающих сигналов, в отличие от существующих систем сбора пчелиного яда, впервые позволяет отказаться от центрального прибора сбора яда и линий проводной связи, что, с одной стороны, повышает производительность труда сборщиков яда в 5-10 раз, а с другой – существенно улучшает условия труда сборщиков яда и одновременно снижает стоимость необходимой аппаратуры.

Возможна организация серийного производства блоков формирования раздражающих сигналов на предприятиях Республики Марий Эл и реализация их в различных регионах РФ.

#### Список литературы

1. Книга пчеловода / сост. Г. Ф. Таранов. М.: Росагропром, 1992. 255 с.
2. Гинойн Р. В., Хомутов А. Е., Петров В. А. Биологические основы получения пчелиного яда: монография. Нижний Новгород., 2014. 285 с.
3. Третьяков Ю. Н. Пчелиный яд. Способы получения пчелиного яда. Приборы для получения пчелиного яда // Книга пчеловода. СПб.: Изд-во «Дея», 2008. 112 с.
4. Крылов В. И. Пчелиный яд. Свойства, получение, применение / Изд-во Нижегородского университета. Н. Новгород, 1995. 224 с.
5. Кривцов Н. И., Лебедева В. И. Продукты пчеловодства. М.: Нива России, 1995.
6. Лаврентьев Б. Ф. Создание комплекса средств для повышения рентабельности пчеловодства в России // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия. Технологическая. 2014. С. 108-112.
7. Лаврентьев Б. Ф. Повышение рентабельности пчеловодства в России за счет создания специализированных приборов // Журнал Научный альманах. 2015. № 5 (7). С. 179-184.
8. Лаврентьев Б. Ф., Андрианов Ю. С. Прибор для сбора пчелиного яда «Мукш 5» // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2016. № 4. С. 77-80.
9. Лаврентьев Б. Ф. Устройство для сбора пчелиного яда // Пчеловодство. 2015. № 6. С. 55-57.
10. Лаврентьев Б. Ф. Система сбора пчелиного яда «Мукш 7» // Пчеловодство. 2019. № 4. С. 50-54.
11. Лаврентьев Б. Ф., Лебедева А. А., Красильникова Э. М. Пчелиный яд. Получение. Стандартизация. Применение // НАУ Ежемесячный научный журнал. 2014. № 3. С. 120-122.
12. Лаврентьев Б. Ф., Бусыгин Г. В., Красильникова Э. М. Система сбора пчелиного яда «МУКШ 2» // Актуальные вопросы образования и науки // Сборник научных трудов НПК. Тамбов: ООО «ЮКОН», 2014. С. 90-92.
13. Образцов А. Н., Образцов С. А. Схемотехника ДС-ДС преобразователей // Современная электроника. 2005. № 3. С. 36-43.
14. Раймонд Мэк С. Импульсные источники питания. М.: Додэка-XXI, 2015. 272 с.
15. Лаврентьев Б. Ф. Блок формирования раздражающих сигналов для сбора пчелиного яда: патент РФ № 186864. Опубликовано 06.02.2019.
16. Лаврентьев Б. Ф. Устройство для сбора пчелиного яда: патент RU № 2011153289 Опубликовано 22.08.2013.
17. Лаврентьев Б. Ф. Устройство для сбора пчелиного яда: патент РФ № 148852 U1. Опубликовано 15.07.2014.
18. Лаврентьев Б. Ф., Петухов И. В., Белов Д. А. Устройство для сбора пчелиного яда. Патент RU 128962 U1. Опубликовано 20.06.2013.

19. Лаврентьев Б. Ф., Петухов И. В., Шеголев А. А. Устройство для сбора пчелиного яда. Патент RU № 94036. Опубликовано 25.02.2014.

20. Лебедева А. А., Лаврентьев Б. Ф., Бусыгин Г. В., Суханова Л. В. Комплект устройств сбора пчелиного яда: патент на промышленный образец RU № 94998 МПКО 14-12. Опубликовано 01.07.2015.

#### **BLOCK FORMING AN IRRITABLE SIGNALS FOR SYSTEMS OF COLLECTION OF BEE POISON «MUKSH 7»**

*Lavrentiev Boris Fedorovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*A block of generating annoying signals (FRS), created in 2018 at the Volga State University of Technology for the Muksh 7 bee poison collection system, is described. raw materials for the production of domestic drugs. The results of laboratory tests of the formation of annoying signals are given.*

**Keywords:** *bees; bee venom; annoying shapers; medications; increase profitability in eekkeeping.*

УДК 621.316.8

#### **АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ**

*Шабдаров Евгений Васильевич, Леухин Владимир Николаевич*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
shabdarov2010@yandex.ru

*Предлагается алгоритмическая модель процесса корректировки функциональной характеристики датчиков положения дроссельной заслонки на основе электроискровой корректировки сопротивления подгоночных секций.*

**Ключевые слова:** *датчик положения дроссельной заслонки, функциональная характеристика.*

**Введение.** Датчик положения дроссельной заслонки ДПДЗ 406.1130000-01 (рис. 1) предназначен для установки на корпусе дроссельной заслонки систем впрыска топлива инжекторных двигателей автомобилей ВАЗ, ГАЗ, с целью преобразования углового положения дроссельной заслонки в пропорциональное изменение электрического напряжения, и используется бортовым компьютером для управления подачей топлива.

Основной характеристикой датчика положения дроссельной заслонки (ДПДЗ) является его функциональная характеристика (ФХ), к которой предъявляются очень высокие требования. Контроль ФХ производится при изменении угла поворота ротора датчика от 0 до 90 градусов с шагом 5 градусов [1]. Современное производство во многих случаях не способно в полной мере обеспечить линейность характеристики, что сказывается на проценте выхода годных изделий и качестве работы всей системы. При-

чинами нелинейности ФХ являются отклонение от требуемой формы трафарета, непостоянство толщины пасты и ее стехиометрического состава, определенная размытость границ отпечатка резистивного элемента, связанная с сетчатой структурой трафарета, и ряд других факторов.

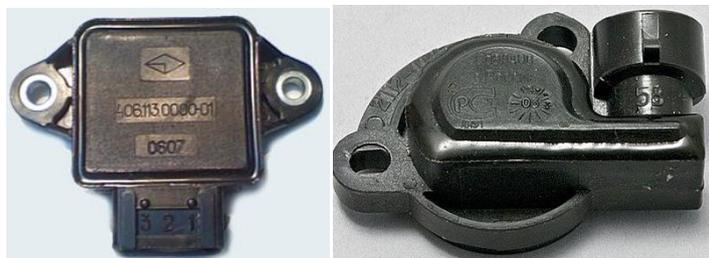


Рис. 1. Конструкции ДПДЗ, выпускаемые Арзамасским заводом радиодеталей и АО «Контакт»

Одним из путей совершенствования технических характеристик резистивного датчика, помимо устранения или уменьшения вышеуказанных причин, является корректировка ФХ. Причем используемые методы корректировки не должны нарушать целостности резистивного слоя и обеспечивать при этом требуемый вид ФХ. Решению данной проблемы и посвящена данная работа.

**Цель** – разработка алгоритмической модели процесса корректировки характеристики ДПДЗ.

**Решаемые задачи:** 1) выбор метода подгонки характеристики ДПДЗ; 2) математический анализ процесса корректировки характеристики ДПДЗ; 3) разработка алгоритма вычисления ФХ для подгонки ДПДЗ.

**Конструкция датчика.** Датчик состоит из корпуса, подложки, на которую нанесены три резистивных слоя и контактные площадки (рис. 2). Резистор R2 – непосредственно сам датчик положения угла поворота. Изменение величины сопротивления резисторов R1 и R3 (подгоночных секций) может приводить к корректировке ФХ датчика. Контакты 1, 2 и 3 – это контакты, которые выводятся наружу и служат для связи с микропроцессорной системой управления работой двигателя. ФХ датчика выражается зависимостью напряжения снимаемого с контактов 1-2 или 2-3 от угла поворота токосъема.

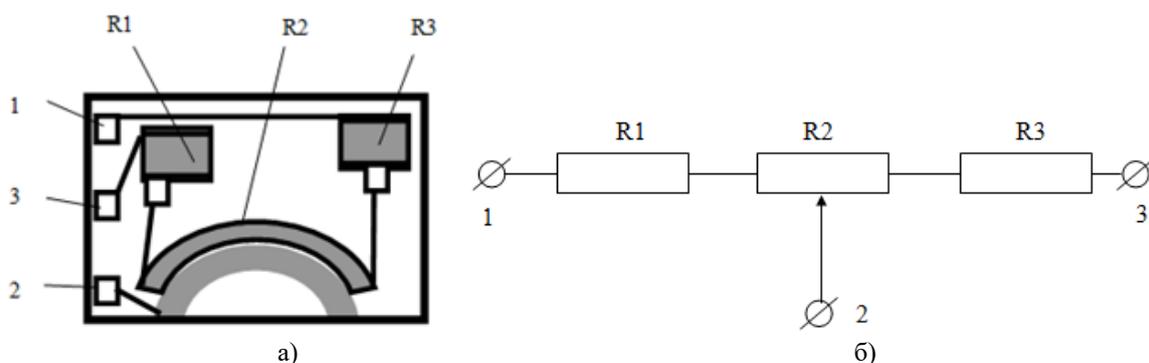


Рис. 2. Конструкция подложки датчика (а) и ее электрическая принципиальная схема (б)

В соответствии с техническими условиями 406.1130000-01 ТУ ФХ датчика угла поворота должна быть линейная. В идеале ФХ должна представлять собой прямую линию (рис. 4), расположенную под некоторым углом  $\varphi$  к оси X (ось угла поворота). Согласно техническим условиям 406.1130000-01 ТУ ФХ датчика может иметь вид, отличный от прямой в некоторых пределах.

ФХ можно «выпрямить» изменяя сопротивления резисторов R1 и R3, тем самым «опускать» или «приподнимать» концы ФХ. Для этих целей может быть использован метод электроискровой подгонки, обеспечивающий изменение сопротивления толстопленочных резисторов как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения сопротивления [2-3].

**Математический анализ решения задачи.** Для определения величин сопротивлений, на которые необходимо изменить резисторы R1 и R3, нужна математическая модель процесса корректировки, обеспечивающая изменение ФХ в нужную сторону и введение ее в поле допуска. На рисунке 3 изображена эквивалентная схема датчика. Резистор R3 представлен резисторами R31 и R32, сопротивления которых зависят от угла поворота токосъёма датчика. Определим формулы, по которым можно вычислить  $U_{\text{вых}}$ , снимаемое с выводов 1-3 для двух случаев:

- 1 случай – токосъём вывернут влево, при этом ток проходит только через резистор R2;
- 2 случай – токосъём вывернут вправо. В этом случае ток проходит через резисторы R2, R31 и R32.

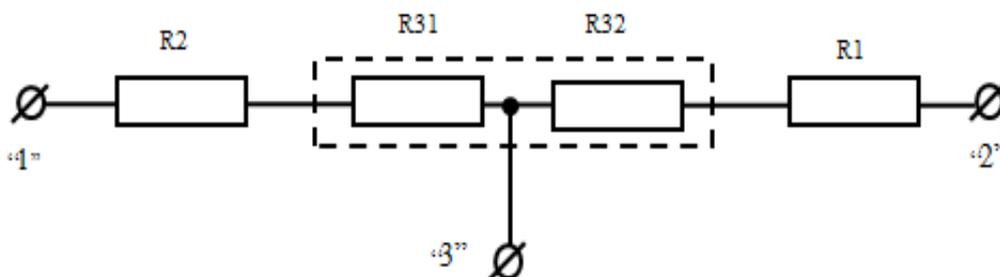


Рис. 3. Эквивалентная схема датчика

По закону Ома ток в цепи между выводами 1 и 2 вычисляется по формуле (1). Здесь  $U$  – напряжение, прикладываемое к выводам 1 и 2, а  $R_{\text{прец}}$  – сопротивление резистора, необходимого для калибровки устройства (в данной статье его значение учитываться не будет).

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3 + R_{\text{прец}}} \quad (1)$$

Следовательно, для первого случая получаем:

$$U_{\text{вых}} = I (R_2 + R_{31}) \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2) и учитывая, что для первого случая  $R_{31} = 0$  выходное напряжение будет выражено следующей формулой:

$$U_{\text{вых}} = \frac{UR_2}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (3)$$

Рассмотрим второй случай, когда токосъём вывернут вправо:

$$U_{\text{вых}} = I(R_2 + R_{31} + R_{32}) = I(R_2 + R_3). \quad (4)$$

Подставим (1) в (4), в итоге получим:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (5)$$

Найдём формулу, определяющую величину сопротивления  $\Delta R$ , на которую нужно подогнать резисторы  $R_2$  и  $R_1$  при корректировке характеристики.

На рисунке 4 показана идеальная и реальная ФХ датчика. Как видно, в начале и в конце реальная характеристика отличается на величину  $\Delta U$ .

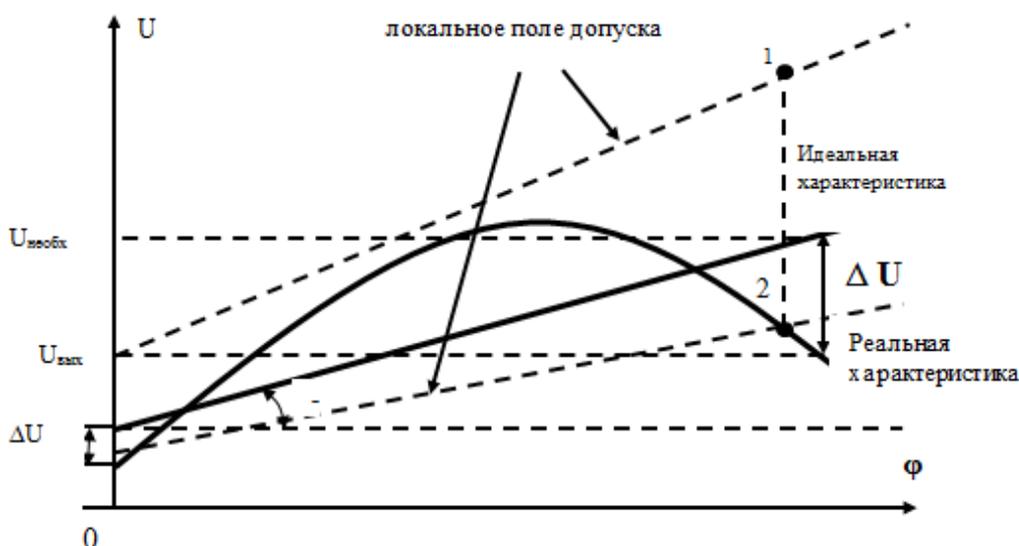


Рис. 4. Реальная и идеальная ФХ датчиков

Рассмотрим случай, когда токосъём вывернут вправо.

Для изменения  $U_{\text{вых}}$  на ФХ необходимо изменение сопротивления или резистора  $R_1$ , или резистора  $R_2$  (исходя из формулы 5). В данном случае нужно изменять сопротивление  $R_1$ . Следовательно, в выражении (5) дадим приращение  $\Delta R$  в правой части формулы, а в её левой части появится приращение напряжения  $\Delta U$ :

$$U_{\text{вых}} \pm \Delta U = \frac{U(R_2 + R_3)}{R_2 + R_3 + (R_1 \pm \Delta R_1)}. \quad (6)$$

В этой формуле знак зависит от того, в какую сторону отклонилась реальная ФХ от идеальной. Левая часть формулы есть  $U_{\text{необх}} = U_{\text{вых}} \pm \Delta U$  — точка на характеристике после подгонки.

Преобразуем формулу

$$U_{необх} (R_1 + R_2 + R_3 \pm \Delta R_1) = U (R_2 + R_3), \quad (7)$$

где  $U_{необх}$  для каждой локальной области определяется отдельным алгоритмом, приведённым ниже.

$$R_1 + R_2 + R_3 \pm \Delta R_1 = \frac{U(R_2 + R_3)}{U_{необх}}; \quad (8)$$

$$\pm \Delta R = \frac{U(R_2 + R_3)}{U_{необх}} - (R_1 + R_2 + R_3). \quad (9)$$

Рассмотрим случай, когда движок переменного резистора вывернут влево. Определим  $\Delta R_2$  аналогично первому случаю, используя формулу (7):

$$U_{необх} R_2 \pm U_{необх} \Delta R_2 + U_{необх} R_3 + U_{необх} R_{1H} = U R_2 \pm U \Delta R_2,$$

где  $R_{1H}$  – сопротивление подогнанного резистора.

$$U_{необх} = U_{вых} \pm \Delta U = \frac{U(R_2 \pm \Delta R_2)}{(R_2 \pm R_2) + R_3 + R_{1H}}$$

$$\pm U_{необх} \Delta R_2 - (+)U \Delta R_2 = R_2 U - R_2 U_{необх} - U_{необх} R_3 - U_{необх} R_{1H}$$

$$\Delta R_2 (\pm U_{необх} - (+) U) = R_2 (U - U_{необх}) - U_{необх} (R_3 + R_{1H}).$$

При подгонке резистора  $R_2$  будет меняться  $U_{необх}$  в правой части ФХ (исходя из формулы (7)). Таким образом, необходима проверка: не вышла ли ФХ подогнанного резистора из локальной области.

Возможны два варианта проверки:

1) путем вычисления и определения: не изменилась ли ФХ в правой части более чем на 2 % (исходя из условий ТУ). Этот вариант применим при большой точности подгонки

$$\Delta R_2 = \frac{R_2(U - U_{необх}) - U_{необх}(R_3 + R_{1H})}{\pm U_{необх} \pm U};$$

2) путем вычисления границ локальной области (точки 1 и 2 на рисунке 4 и сравнение с  $U_{необх}$ ).

**Разработка алгоритма подгонки.** ФХ представляет собой не идеальную линию, а разброс точек вокруг этой линии. Приведённый ниже алгоритм позволяет определить начальную и конечную точки в локальных областях, а также границы самой локальной области.

Как видно на рисунке 4, идеальная ФХ представляет прямую линию под углом  $\alpha$  к оси ф. Таким образом, если разбить ФХ на равные промежутки (что и делают при замере ФХ на производстве (19 промежутков)), то в идеальной ФХ положение каждой точки можно определить по предыдущей исходя из формулы

$$U_{i+1} = \operatorname{tg} \alpha U_i, \quad (10)$$

где  $U_i$  – точка на кривой,  $i$  принадлежит промежутку от 1 до 19 включительно.

Но на реальной кривой точки лежат не на одной прямой, поэтому чтобы определить  $U_{\text{необх}}$  (т.е. конечные точки отрезка т.1 или т.19) необходимо определить совокупность (массив) точек, которые подходят под формулу идеальной ФХ с учётом технологического разброса (2 %).

Замеряем все точки и получаем значения ФХ:  $U_{1\text{реальн}} \dots U_{19\text{реальн}}$ . Берём значение точки 1 и вычисляем по формуле (10) значение в т.2. Если  $U_{2\text{идеал}} = U_{1\text{реал}}$ , или входит значение  $U_{1\text{идеал}}$  в 2 % технологический допуск, то заносим эти две точки ( $U_{2\text{идеал}}$  и  $U_{1\text{реал}}$ ) в массив № 1.

Далее по точке  $U_{2\text{идеал}}$  вычисляем  $U_{3\text{идеал}}$  и опять сравниваем  $U_{3\text{реал}}$  с  $U_{3\text{идеал}}$  (с учётом 2 %) если равно, то записываем в массив № 1. Иначе в другой массив – массив № 2. Затем рассматриваем точку 4, и если она равна  $U_{4\text{реал}} = U_{4\text{ид}}$ , то заносим её в тот массив, куда было занесена предыдущая точка. Если не равна, то в новый. Таким образом, мы пытаемся определить локальную область, в которую лучше всего вписывается реальная ФХ. Рассматриваем массивы и определяем, в какой массив попало больше точек. По наибольшему массиву определяем идеальную ФХ и достраиваем её, определив тем самым  $U_{\text{необх}}$ , т.е. конечные точки.

Работу алгоритма можно показать на рисунке 5. На рисунке показано множество точек, определяющих реальную ФХ. Через это множество проводим множество прямых – идеальных функциональных характеристик. Определяем, на какой прямой лежит больше точек (с учётом технологического допуска). На данном примере это прямая № 1.

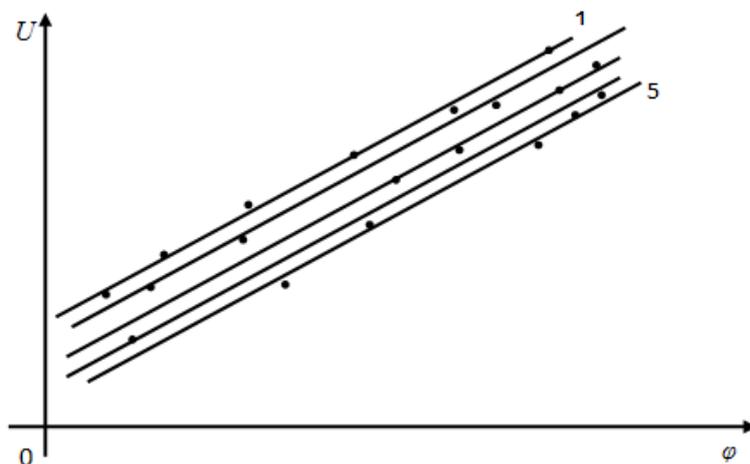


Рис. 5. Выбор идеальной ФХ

Алгоритм вычисления ФХ представлен на рисунке 6.

Здесь:  $N$  – номер массива;  $k$  – переменная счётчика измеренных точек реальной ФХ;  $I$  – переменная счётчика измеренных точек идеальной ФХ;  $U_i$ ,  $U_k$  – значения точек ФХ;  $U_{кн}$ ,  $U_{кв}$  – нижняя и верхняя границы локальной области.

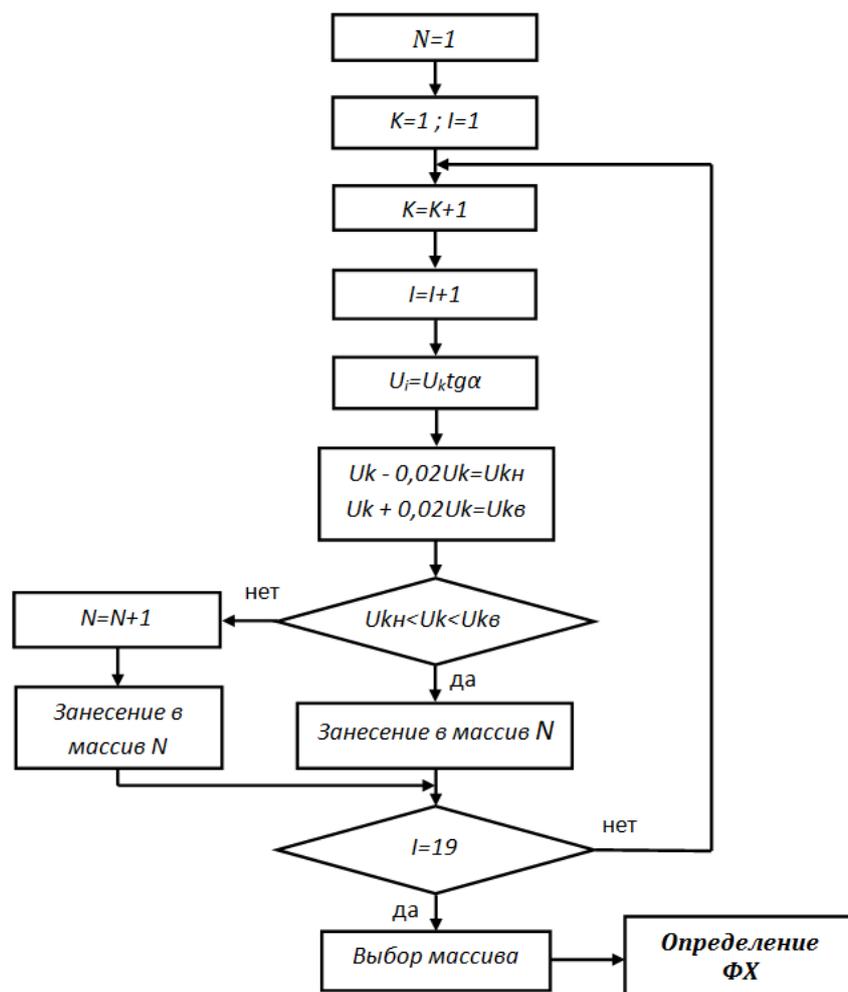


Рис. 6. Алгоритм вычисления ФХ

### Выводы

1. Выбран электроискровой метод подгонки ФХ ДПДЗ как метод, позволяющий осуществлять двунаправленную корректировку сопротивления.
2. Проведен математический анализ процесса корректировки характеристики ДПДЗ, который позволил определить области, степень воздействия и метод контроля линейности ФХ в процессе ее корректировки в соответствии с ТУ.
3. Разработан алгоритм вычисления ФХ для подгонки ДПДЗ на основе выбора идеальной ФХ, вычисляемой после измерения реальной ФХ с учетом 2 % технологического допуска.

### Список литературы

1. ТУ 406.1130000-01. Датчик положения дроссельной заслонки.
2. Леухин В. Н., Нагаев А. А. Анализ применимости электроискровой подгонки для корректировки функциональной характеристики пленочных резистивных элементов // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2009. № 3. С. 51–59.

3. Патент РФ № 2199756 Способ корректировки характеристики датчика угла поворота резисторного типа / В. Н. Леухин, А. М. Сухов, А. В. Ахматаев.

**THROTTLE POSITION SENSOR CHARACTERISTIC ELECTROSPARK TRIMMING PROCESS  
ALGORITHM MODEL**

*Shabdarov Evgenyi Vasilevich, Leukhin Vladimir Nikolaevich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Throttle position sensor characteristic electrospark trimming process algorithm model is offered. The model is based on adjusting resistance electrospark trimming.*

**Keywords:** *throttle position sensor, functional characteristic.*

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 519.7:512.573

## О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ФАКТОРИЗАЦИИ РИСКА В УСЛОВИЯХ ВЕРОЯТНОСТНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*Бородин Андрей Викторович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
bor@mar-el.com

*Задача идентификации подсистем, значимых с точки зрения влияния на процессы риска в развивающихся системах, была и остается важнейшей в теории риска. Данная задача в условиях вероятностной неопределенности рассмотрена с позиций современной алгебраической теории риска. Показано, что задачу идентификации риск-значимых подсистем можно рассматривать как проблему факторизации. Представлена постановка задачи факторизации риска для отдельных элементов семейства мультимножеств, описывающих риск, а также в классах эквивалентности этого семейства, порождаемых конгруэнциями неразличимости, значимости и произведением последних. Показано, что задача факторизации риска является в общем случае некорректной в смысле множественности решений.*

**Ключевые слова:** алгебраическая теория риска, вычет, идентификация подсистем, конгруэнция, мультимножество, некорректная задача, система, факторизация.

Повышению точности измерения риска и снижению при этом потребления вычислительных ресурсов посвящено большое количество работ. При этом часто решается следующая задача. Зная риски развития отдельных подсистем, мы оцениваем риск развития системы в целом. То есть, фактически, речь идет о решении прямой задачи. Значительный прогресс на этом пути достигнут в рамках развития алгебраической теории риска [7, 8], соответствующие алгоритмы часто оказываются точнее и устойчивее алгоритмов, реализующих, например, метод Монте-Карло [2].

В то же время часто представляет интерес другая задача. Мы наблюдаем реализацию событий риска развития системы, накапливаем статистику и хотим понять: можно ли объяснить поведение системы как «черного ящика» наличием (независимых) подсистем, можно ли оценить риск развития каждой такой подсистемы (идентифицировать подсистемы). Другими словами, можно говорить об актуальности решения обратной задачи.

Различным вариантам постановки обратных задач в алгебраической теории риска и посвящена данная работа.

Воспользуемся обозначениями из пионерской работы по алгебраической теории риска [8]. Пусть  $S$  – множество всех возможных состояний системы. Будем рассматривать такое подмножество  $C \subseteq \text{Map } S, S$  всех отображений множества состояний системы на себя, которое содержит лишь коммутативные по отношению к операции композиции отображения:

$$\forall c_1, c_2 \quad c_1, c_2 \in C \quad [c_2 \circ c_1 = c_1 \circ c_2]. \quad (1)$$

Систему, в которой допустимы лишь преобразования, удовлетворяющие условию коммутативности (1), назовем *коммутативной*.

Пусть  $\mathbb{I} = [0, 1]$  – единичный отрезок,  $\mathbb{I} \subset \mathbb{R}$ . Здесь и далее  $\mathbb{R}$  – множество действительных чисел.

Рассмотрим семейство мультимножеств [6] вида:  $\mathfrak{A} = A : \text{Supp } A \subset C \times \mathbb{I}$ , где  $\text{Supp } A$  – носитель мультимножества  $A$ . Определим на  $\mathfrak{A}$  операцию умножения:

$$A \bullet B \stackrel{\text{Def}}{=} \left\{ k_{A \bullet B} u * u : k_{A \bullet B} u = \sum_{\substack{x \in \text{Supp } A, \\ y \in \text{Supp } B, \\ xy=u}} k_A x k_B y, u \in \bigcup_{\substack{x \in \text{Supp } A, \\ y \in \text{Supp } B}} xy \right\},$$

где  $k_A : C \times \mathbb{I} \rightarrow \mathbb{Z}_0^+$  – функция кратности элементов мультимножества  $A$ ,  $\mathbb{Z}_0^+$  – множество неотрицательных целых чисел, а на множестве  $C \times \mathbb{I}$  определена операция умножения следующим образом:

$$z = x \bullet y \stackrel{\text{Def}}{\Leftrightarrow} \text{pr}_C z = \text{pr}_C y \circ \text{pr}_C x, \quad \text{pr}_{\mathbb{I}} z = \text{pr}_{\mathbb{I}} x \cdot \text{pr}_{\mathbb{I}} y, \quad x, y, z \in C \times \mathbb{I}.$$

Здесь, в частности, использовано обозначение проекции элемента на множество, например,  $\text{pr}_C x$  – проекция элемента  $x$  на множество  $C$ .

Рассмотрим еще два семейства мультимножеств:

$$\mathfrak{R} \stackrel{\text{Def}}{=} \mathbf{R} : \mathbf{R} \in \mathfrak{A}, \sum_{x \in \text{Supp } \mathbf{R}} k_{\mathbf{R}} x \text{pr}_{\mathbb{I}} x = 1$$

и

$$\mathfrak{F} \stackrel{\text{Def}}{=} \mathbf{R} : \mathbf{R} \in \mathfrak{A}, \sum_{x \in \text{Supp } \mathbf{R}} k_{\mathbf{R}} x \text{pr}_{\mathbb{I}} x \leq 1.$$

В монографиях [7, 8] показано, что семейство  $\mathfrak{R}$  – суть универсальное множество дискретных рисков в коммутативных системах в условиях вероятностной неопределенности, а  $\mathfrak{F}$  – универсальное множество частей этих рисков,  $\mathfrak{R} \subset \mathfrak{F}$ . Эти множества

вместе с операцией умножения образуют коммутативные моноиды  $\langle \mathfrak{R}, \bullet \rangle$  и  $\langle \mathfrak{P}, \bullet \rangle$ , что позволяет определить на  $\mathfrak{R}$  и  $\mathfrak{P}$  понятие натуральной степени. В частности, интерпретацией натуральной степени на  $\mathfrak{R}$  является совместный риск совокупности ряда независимых одинаковых подсистем в количестве, равном показателю степени, в случае, когда риск отдельной подсистемы определяется основанием степени. Впервые, по-видимому, такая интерпретация была представлена в работе [9].

Если ввести в рассмотрение семейство рисков с одинаковым (фиксированным) количеством исходов

$$\mathfrak{R}^{\#k} \stackrel{Def}{=} \{ \mathbf{R} : \mathbf{R} \in \mathfrak{R}, |\mathbf{R}| = k \}, k \in \mathbb{Z}_0^+,$$

то можно ввести на множестве рисков  $\mathfrak{R}$  отношение совпадения количества исходов

$$\mathbf{R}_1 \# \mathbf{R}_2 \stackrel{Def}{\Leftrightarrow} \exists k (\mathbf{R}_1 \in \mathfrak{R}^{\#k}, \mathbf{R}_2 \in \mathfrak{R}^{\#k}).$$

В работах [3, 4] показано, что фактор-моноид  $\langle \mathfrak{R}, \bullet \rangle / \#$  изоморфен моноиду  $\langle \mathbb{Z}_0^+, \times \rangle$ , однако этот изоморфизм не в полной мере отражает строение универсального множества рисков  $\mathfrak{R}$ , природа множества рисков более многообразна, чем природа счетных множеств. В частности, уже при  $k \geq 4$  семейство  $\mathfrak{R}^{\#k}$  содержит элементы, характеризующиеся разной информационной энтропией, в зависимости от возможности представления этих элементов в виде произведений других элементов из  $\mathfrak{R}$ .

Последнее замечание наталкивает на ту мысль, что возможность представления риска некоторой системы в виде произведения более простых рисков означает упрощение исследования этой системы, ее декомпозицию на более простые подсистемы. Традиционно задачу разбиения некоторого элемента алгебраической системы на произведение других элементов этой системы называют задачей *факторизации*. В контексте обсуждаемой темы можно говорить, что факторизация риска – суть идентификация подсистем.

Последовательно рассмотрим ряд вариантов постановки задачи факторизации.

1. Простейшая постановка задачи факторизации риска: для некоторого риска или его части  $\mathbf{R} \in \mathfrak{P}$  выяснить возможность представления его (ее) в виде произведения  $\mathbf{R} = \prod_{i=1}^n \mathbf{R}_i^{k_i}$ , где  $n \geq 2$ ,  $\mathbf{R}_i \in \mathfrak{P}$ ,  $k_i \in \mathbb{Z}^+$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , и, при положительном ответе на этот вопрос, найти это представление. Здесь  $\mathbb{Z}^+$  – это множество натуральных чисел. При наличии такого представления для мощностей мультимножеств справедливо следующее (тривиальное) соотношение:  $|\mathbf{R}| = \prod_{i=1}^n |\mathbf{R}_i|^{k_i}$ .

Используя простейший пример, покажем, что задача факторизации в такой постановке является некорректной в смысле неоднозначности решения.

Пусть отображение  $c: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  задано соответствием  $c: s \mapsto s + x_c$ ,  $x_c \in \mathbb{R}$ . Рассмотрим для этого случая произведение двух рисков с двумя исходами в каждом:

$$1 * x_1, p_1, 1 * x_2, p_2 \bullet 1 * y_1, q_1, 1 * y_2, q_2 = \\ = 1 * x_1 + y_1, p_1 q_1, 1 * x_1 + y_2, p_1 q_2, 1 * x_2 + y_1, p_2 q_1, 1 * x_2 + y_2, p_2 q_2$$

и другое произведение

$$1 * x_1 + z, r p_1, 1 * x_2 + z, r p_2 \bullet \left\{ 1 * \left( y_1 - z, \frac{q_1}{r} \right), 1 * \left( y_2 - z, \frac{q_2}{r} \right) \right\} = \\ = \left\{ 1 * \left( x_1 + z + y_1 - z, \frac{r p_1 q_1}{r} \right), 1 * \left( x_1 + z + y_2 - z, \frac{r p_1 q_2}{r} \right), \right. \\ \left. 1 * \left( x_2 + z + y_1 - z, \frac{r p_2 q_1}{r} \right), 1 * \left( x_2 + z + y_2 - z, \frac{r p_2 q_2}{r} \right) \right\} = \\ = 1 * x_1 + y_1, p_1 q_1, 1 * x_1 + y_2, p_1 q_2, 1 * x_2 + y_1, p_2 q_1, 1 * x_2 + y_2, p_2 q_2,$$

где  $z \neq 0$  и  $r \neq 1$ . Заметим, что правые части этих соотношений совпадают. Другими словами, факторизация результата возможна лишь с точностью до двух констант  $z$  и  $r$ .

2. С теоретико-вероятностной точки зрения структурно разные риски могут быть неразличимыми. Для описания этой ситуации, следуя [8], введем понятие конгруэнции неразличимости. Введем в рассмотрение отображение  $\tilde{\kappa}: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}^1$ ,

где  $\mathfrak{R}^1 = \{ \mathbf{R} : \mathbf{R} \in \mathfrak{R}, \forall x \in \text{Supp } \mathbf{R} [k_{\mathbf{R}} x = 1] \}$ .

Определим отображение  $\tilde{\kappa}$  следующим образом:

$$\tilde{\kappa} \mathbf{R} \stackrel{\text{Def}}{=} \left\{ 1 * \left( \tilde{c}, \sum_{\substack{x \in \text{Supp } \mathbf{R}, \\ \text{pr}_C x = \tilde{c}}} k_{\mathbf{R}} x \text{ pr}_I x \right) : \tilde{c} \in \bigcup_{x \in \text{Supp } \mathbf{R}} \text{pr}_C x \right\}.$$

Используя отображение  $\tilde{\kappa}$ , введем конгруэнцию неразличимости  $\kappa$  следующим образом:

$$\mathbf{R}_1 \kappa \mathbf{R}_2 \stackrel{\text{Def}}{\Leftrightarrow} \tilde{\kappa} \mathbf{R}_1 = \tilde{\kappa} \mathbf{R}_2, \mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2 \in \mathfrak{R}.$$

На практике также случаются ситуации, когда те или иные исходы реализуются с нулевой вероятностью, иначе, эти исходы не наблюдаемы. Для формализации этой ситуации введем конгруэнцию значимости [7]. Введем отображение  $\tilde{\sigma}: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}_{>0}$ ,

где  $\mathfrak{P}_{>0} = \mathbf{R} \in \mathfrak{P} : \forall x \in \text{Supp } \mathbf{R} \left[ \text{pr}_{\mathbb{I}} x > 0 \right]$  .

Определим отображение  $\tilde{\sigma}$  следующим образом:

$$\tilde{\sigma} \mathbf{R} \stackrel{Def}{=} k_{\mathbf{R}} x * x : \text{pr}_{\mathbb{I}} x > 0, x \in \text{Supp } \mathbf{R} .$$

Конгруэнцию значимости  $\sigma$  определим, используя отображение  $\tilde{\sigma}$  :

$$\mathbf{R}_1 \sigma \mathbf{R}_2 \stackrel{Def}{\Leftrightarrow} \tilde{\sigma} \mathbf{R}_1 = \tilde{\sigma} \mathbf{R}_2 .$$

Теперь можно сформулировать задачу факторизации в расширенной постановке: для некоторого риска или его части  $\mathbf{R} \in \mathfrak{P}$  выяснить возможность существования включения  $\prod_{i=1}^n \mathbf{R}_i^{k_i} \in \mathbf{R} \alpha$ , где  $n \geq 2$ ,  $\mathbf{R}_i \in \mathfrak{P}$ ,  $k_i \in \mathbb{Z}^+$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $\alpha \in \kappa, \sigma, \kappa \cdot \sigma$ , и, при положительном ответе на этот вопрос, найти варианты для левой части этого включения.

3. Решение задачи факторизации во второй постановке в общем случае неоднозначно не только параметрически, но и структурно. Для снижения структурной неоднозначности введем функционал информационной энтропии риска  $H : \mathfrak{P} \rightarrow \mathbb{H}$ , где  $\mathbb{H}$  – линейно упорядоченное множество возможных значений энтропии в модели, множество, наделенное структурой полугруппы по сложению. Теперь можно переформулировать предыдущую постановку задачи следующим образом:

$$\langle n^*, \mathbf{R}_i^*, k_i^*, i = 1, 2, \dots, n^* \rangle = \arg \min_{\prod_{i=1}^n \mathbf{R}_i^{k_i} \in \mathbf{R} \alpha} \sum_{i=1}^n H \mathbf{R}_i .$$

Звездочками помечены элементы соответствующих множеств, доставляющие минимум сложности (энтропии) результата факторизации.

В качестве обсуждения отметим, что факторизация в общем случае – трудная задача. Так трудоемкость решения задачи факторизации больших натуральных чисел породила целый пласт криптографических примитивов, включая такую известную криптосистему, как RSA. Криптосистема RSA и сегодня, спустя более четырех десятков лет после своего изобретения, считается практически стойкой криптосистемой, и все это благодаря трудоемкости соответствующей задачи факторизации, прогресс в решении которой за названный период не был слишком значительным. В то же время известно, что моноид рисков изоморфен моноиду целых неотрицательных чисел [4]. С другой стороны, в этой же работе показано, что при более детальном рассмотрении моноид рисков имеет более сложное строение по отношению к моноиду целых чисел. Затруднит или облегчит этот факт решение задач факторизации рисков – пока не известно. Ответ на этот вопрос также является актуальной проблемой. Отсутствуют пока идеи решения задачи факторизации риска в общем случае для второй и третьей постановок.

Разработка алгоритма факторизации в первой постановке в настоящее время осуществляется автором данной статьи. На этом пути видны хорошие перспективы.

В целом к задачам факторизации в постановках, подобных приведенным, имеется определенный интерес не только в области вычислительной теории риска. Это, например, приложения математической физики [5, 10], а также задачи теории систем массового обслуживания [1].

#### Список литературы

1. Боровков А. А. Вероятностные процессы в теории массового обслуживания. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1972. 368 с.
2. Бородин А. В. Реконструкция и исследование датчика псевдослучайных чисел в VBA-подсистеме Microsoft Office // NB: Кибернетика и программирование. 2014. № 4. С. 14-45. DOI: 10.7256/2306-4196.2014.4.12648.
3. Бородин А. В. Строение множества рисков дискретных систем / А. В. Бородин // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. № 5. С. 130-135.
4. Бородин А. В. Строение множества рисков над полем действительных чисел // Приоритетные направления развития науки и образования: материалы IX Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 26 августа 2016 г.). Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. № 2(9). С. 13-17. DOI: 10.21661/r-112917.
5. Маслов В. П., Чеботарев А. М. Уравнение типа Колмогорова-Феллера в факторизованном вероятностном пространстве // Теория вероятностей и ее применения. 1999. Т. 44, В. 2. С. 373-383.
6. Петровский А. Б. Пространства множеств и мультимножеств. М.: Едиториал УРСС, 2003. 248 с.
7. Уразаева Т. А. Алгебраические методы анализа риска в развивающихся экономиках. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. 276 с.
8. Уразаева Т. А. Алгебра рисков: теория и алгоритмы. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2013. 208 с.
9. Уразаева Т. А. Финансовые риски: алгебраическая модель исчисления // Региональная экономика: теория и практика. 2010. № 2. С. 33-35.
10. Чеботарев А. М. Вероятностные пространства Маслова, связанные со статистиками Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака // Математические заметки. 1999. Т. 65, В. 5. С. 746-759.

#### ABOUT PROBLEM DEFINITION OF FACTORIZATION OF RISK IN THE CONDITIONS OF PROBABILISTIC UNCERTAINTY

*Borodin Andrey Viktorovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The task identification of the subsystems significant in terms of influence on processes of risk in the developing systems, was and remains to the most important in the theory of risk. This task in the conditions of probabilistic uncertainty is considered from positions of the modern algebraic theory of risk. It is shown that the problem of identification risk - significant subsystems can be considered as a factorization problem. Problem definition of factorization of risk for separate elements of family of the multisets describing risk and also in the equivalence classes of this family generated by congruences of indistinguishability, importance and the work by the last is presented. It is shown that the problem of factorization of risk is generally incorrect in sense of plurality of solutions.*

**Keywords:** *algebraic risk theory, residue, identification of subsystems, congruence, multiset, ill-posed problem, system, factorization.*

УДК 004.056.2+330.131.5

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛИТИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ОТЧУЖДЕННОЙ ОБРАБОТКИ АУТЕНТИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Бородин Андрей Викторович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
bor@mari-el.com

*Разработана и исследована онтологическая модель процесса отчужденной обработки аутентичной информации для нужд организации защищенного документооборота в сфере розничного бизнеса. Предложена реализация соответствующей политики безопасности.*

**Ключевые слова:** документ, модель угроз, онтологическая модель, политика безопасности, совокупная стоимость владения, целостность информации, электронная цифровая подпись, юридическая сила, QR-код.

**Введение.** Сегодня технологии электронной (цифровой) подписи (ЭЦП) распространены во всех сферах бизнеса и востребованы в основном юридическими лицами. Постепенно они внедряются и в практическую деятельность физических лиц. При наличии ЭЦП для физического лица открывается ряд новых и интересных возможностей:

- 1) быстрый доступ к полному объему сервисов Единого портала государственных услуг,
  - 2) ряд видов сделок с недвижимостью,
  - 3) дистанционная подача заявления на поступление в высшее учебное заведение,
  - 4) участие в электронных торгах на поставку товаров и оказание услуг,
  - 5) регистрация юридического лица или индивидуального предпринимателя,
  - 6) быстрое дистанционное оформление заявки на получение патента на изобретение.
- Этот список постоянно расширяется.

Однако использование ЭЦП требует от физического лица наличия определенной технической культуры и понимания основных принципов обеспечения безопасности в области информационных технологий. С другой стороны, если посмотреть на перечень субъектов обеспечения этих новых возможностей, то там оказываются в основном государственные структуры или организации, аффилированные с этими структурами, что связано, в частности, с особенностями правоприменения закона «Об электронной подписи».

В этих условиях организации, чья экономическая деятельность связана с сетью Internet и которым требуется наличие механизма признания юридической силы соглашений (документов), подписанных контрагентами – физическими лицами, вынуждены использовать суррогатные технологии дистанционной подписи документов. Одной из таких технологий является подход, основанный на отправке клиенту соглашения об оказании услуг по каналам сети Internet с последующей распечаткой документа на стороне клиента, собственноручным подписанием соглашения клиентом и отправкой подпи-

санного документа традиционной почтой. При этом получение организацией файла, содержащего скан подписанного документа, может означать возможность оказания услуги клиенту в ограниченной форме. Получение подлинника по почте обеспечивает полномасштабное оказание услуги, являющейся предметом подписанного соглашения. Второй экземпляр бумажного подлинника после физического подписания ответственным сотрудником и заверения печатью может быть направлен обратно почтовым отправлением клиенту. Такая возможность может быть связана с необходимостью повышения доверия клиента к организации.

Описанная суррогатная технология несет определенные угрозы для организации, взаимодействующей таким образом со своими клиентами. В частности, подписываемое соглашение может содержать индивидуальные, существенные для клиента, условия, которые он может изменить в одностороннем порядке при переносе направленного ему по каналам Internet документа на бумажный носитель. Впоследствии клиент может попытаться, ссылаясь на подписанный документ, оспаривать условия оказания ему услуг со стороны организации. При допущении возможной невнимательности ответственного сотрудника при реализации механизма возврата клиенту подписанного и заверенного печатью организации второго экземпляра подлинника описанная угроза может стать юридически существенной.

**Целью данной работы** является разработка политики безопасности, снижающей или исключаящей вообще возможность реализации описанной угрозы.

**Методология исследования.** В работе представлен онтологический анализ описанной ситуации, базирующийся на методологии, разработанной автором [1, 3, 8], и использующий нотацию IDEF5 [2]. На основе проведенного анализа разработаны основные технические решения и предложена реализация соответствующей политики безопасности. Для описания бизнес-процесса отчужденной обработки аутентичной информации использована нотация IDEF0 [7].

**Онтологическая модель** описанной проблемы представлена на рисунке 1. Словари элементарных угроз и противодействий приведены соответственно в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Словарь элементарных угроз

Угроза	Описание угрозы
U <sub>0</sub>	Использование контрагентом (клиентом) документа с несанкционированно модифицированной критической частью. (Документ при этом ошибочно прошел процедуру проверки и подтверждения)
U <sub>1</sub>	Несанкционированная модификация критической части документа со стороны и на стороне контрагента (клиента) во время подготовки документа к печати
U <sub>2</sub>	Несанкционированная модификация контрольной информации с целью атаки на содержание критической части документа
U <sub>3</sub>	Атака на аутентичность документа на основе повторного использования образца жесткой связи «критическая часть документа» – «контрольная информация»
U <sub>4</sub>	Низкая надежность канала «электронный документ – печать – бумажный экземпляр – сканирование» для контрольной информации

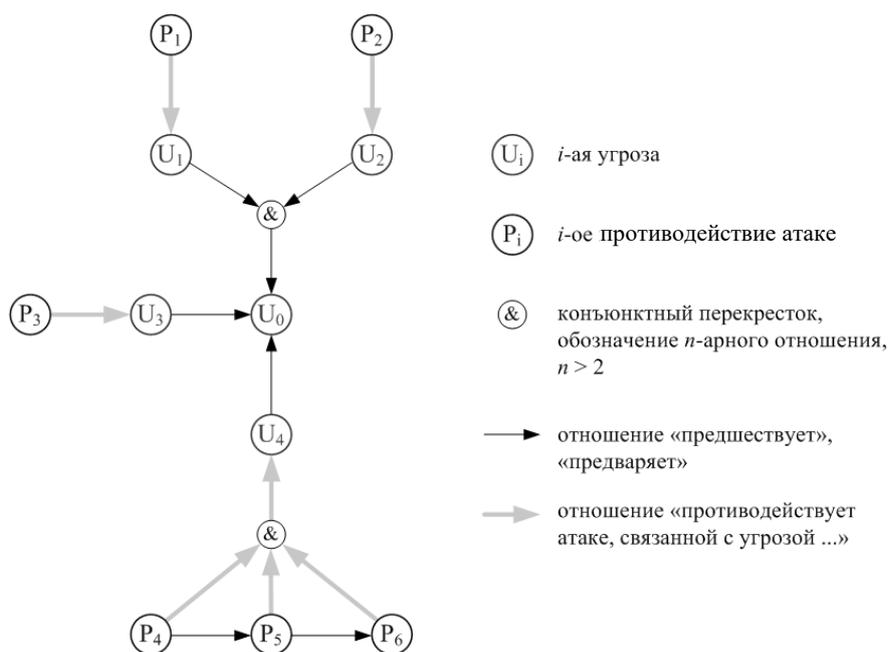


Рис. 1. Онтологическая модель реализации политики безопасности для процессов отчужденной обработки информации

Таблица 2

Словарь элементарных противодействий атакам

Противодействие	Описание противодействия
P <sub>1</sub>	Контроль целостности критической части документа на основе контрольной информации, внедренной в документ. (При этом для контрольной информации доступен процесс переноса на бумажный носитель при печати)
P <sub>2</sub>	Использование для защиты жесткой связи «критическая часть документа» – «контрольная информация» механизма электронной цифровой подписи
P <sub>3</sub>	Использование при формировании контрольной информации случайного идентификатора события, даты и времени согласования, а также информации об ответственном сотруднике, согласовавшем содержание критической части документа
P <sub>4</sub>	Использование QR-кодов для переноса контрольной информации
P <sub>5</sub>	Декларация об аутентичности документа лишь при условии сохранения возможности считывания QR-кода. (Декларация должна быть включена в текстовую часть документа)
P <sub>6</sub>	Подтверждение организацией юридической силы документа при условиях успешного считывания QR-кода и подтверждения целостности критической части документа

**Синтез политики безопасности.** Проведенный онтологический анализ дает возможность сформулировать основные этапы защищенной обработки документа, подвергаемого отчужденной обработке. Результаты имитационного моделирования, проведенного на основе описанной онтологии, позволили выбрать оптимальный по стоимости владения вариант политики безопасности [4]. Верхний уровень функциональной модели реализации этой политики приведен на рисунке 2.

Наибольший интерес с точки зрения поставленной задачи представляют функции 2 (Отчужденная обработка документа) и 3 (Проверка документа на твердом носителе). Однако для понимания всех тонкостей процесса важна и декомпозиция функции 1 (Обработка заявок на оказание услуги). Декомпозиция функции 1 представлена на рисунке 3.



Рис. 2. Функциональная модель процесса двустороннего согласования документа

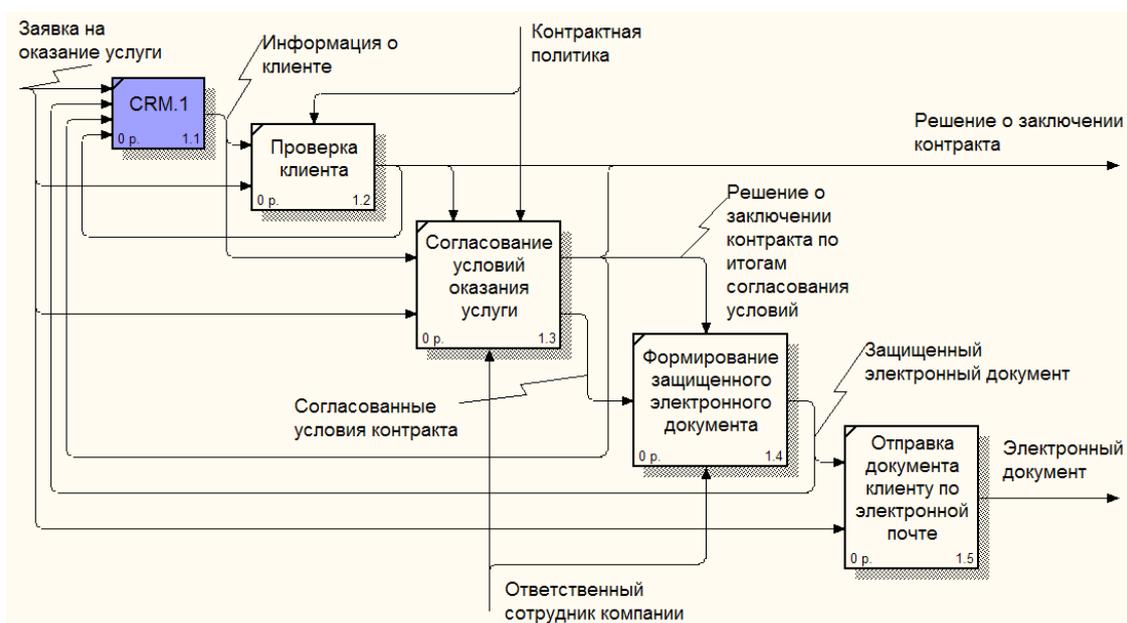


Рис. 3. Функциональная модель процесса обработки заявки клиента на оказание услуги

Обработка заявки начинается с проверки потенциального клиента по базе системы управления взаимоотношений с клиентами (CRM.1), например, с точки зрения вхождения клиента в «blacklist». В случае успешной проверки осуществляется согласование условий оказания услуги с использованием любых средств интеракции. Итоги согласования определяют решение о заключении контракта. В случае положительного решения организация формирует защищенный итоговый документ с использованием идей работ [5, 6] и отправляет его по электронной почте клиенту.

Результаты каждого этапа обработки заявки, включая итоговый документ с его уникальным идентификатором в случае успешных проверки и согласования, сохраняются в базе данных, функция CRM.1.

Особенностью процесса отчужденной обработки документа на стороне клиента (см. рис. 4) является выбор клиентом либо процесса ознакомления и проверки документа на соответствие согласованным условиям (блок 2.2), либо стратегии несанкционированной модификации документа (атака на документ) с целью незаконного выгодоприобретения (блок 2.3).

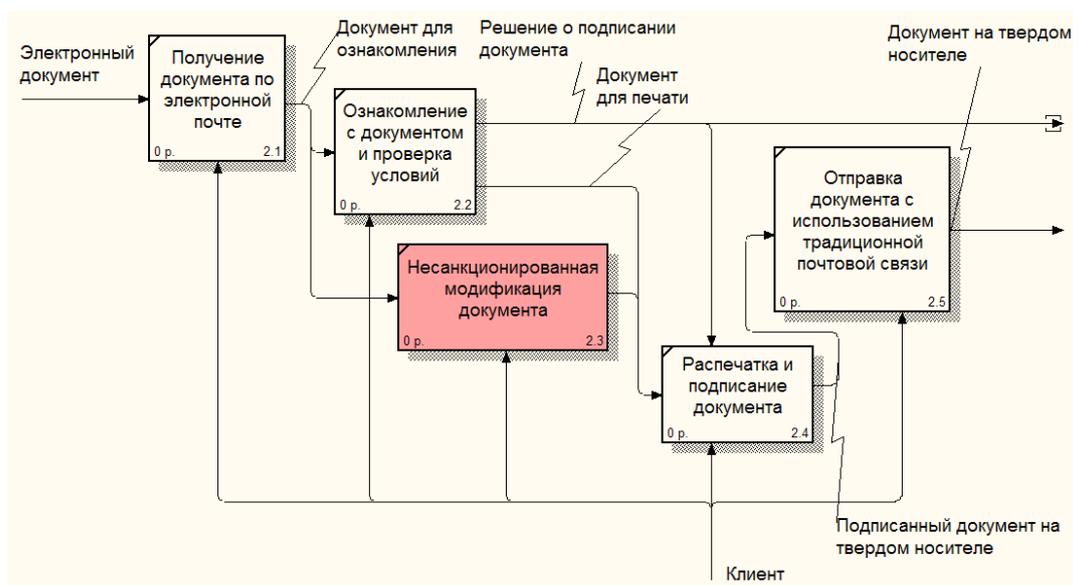


Рис. 4. Функциональная модель отчужденной обработки документа на стороне клиента

Функциональная модель процесса проверки документа на твердом носителе на стороне организации приведена на рисунке 5.

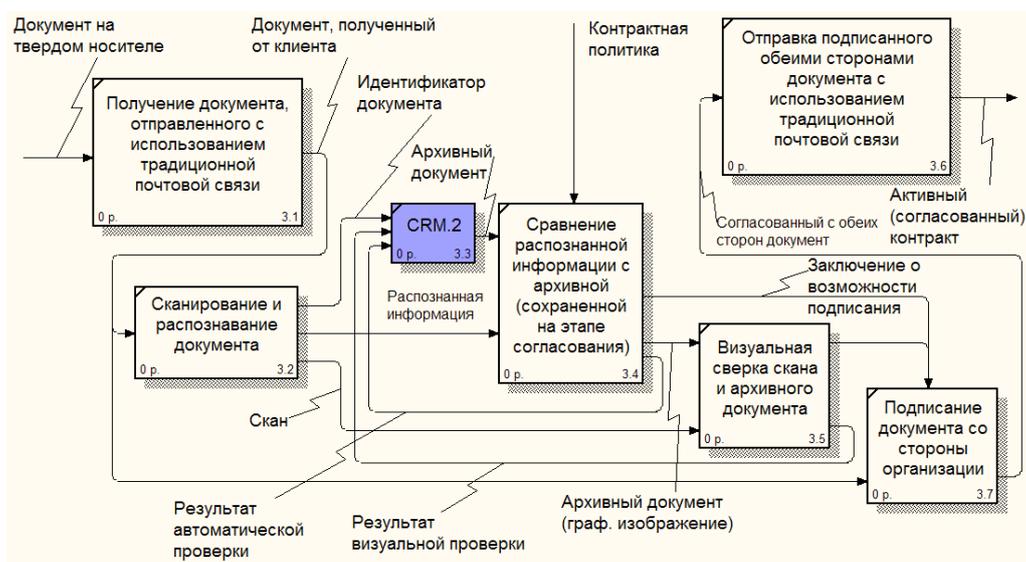


Рис. 5. Функциональная модель процесса проверки документа на твердом носителе

Процесс проверки документа начинается с получения документа на твердом носителе от клиента с использованием традиционной почтовой связи. Полученный документ сканируется, после чего распознается информация, представленная в виде QR-кода. Используя распознанный идентификатор документа, информация, сохраненная в базе данных системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM.2), в том числе исходный (архивный) документ, извлекается и используется для сравнения с распознанной информацией. В случае совпадения на основе этой информации формируется графическое представление документа, и оно накладывается на скан с контрастной подсветкой различий с целью визуального контроля отличий. При выявлении попыток несанкционированной модификации документа информация сохраняется в базе данных событий риска, функция CRM.2. В случае успешного завершения проверок документ подписывается контролером, заверяется печатью организации и отправляется обратно клиенту с использованием традиционной почтовой связи. С этого момента организация может оказывать клиенту услугу – предмет контракта в полном объеме.

**Выводы.** Результатом синтеза политики безопасности, проведенного в рамках данного исследования, явилась функциональная модель бизнес-процесса, готовая к внедрению. Предложенный процесс двустороннего согласования документов организации вместе со структурной моделью документа из работы [4] можно рассматривать как законченное техническое решение поставленной задачи.

#### *Список литературы*

1. Бородин А. В. Методологические основы моделирования в задачах экономики безопасности // Современные проблемы и перспективы социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. С. 217-222.
2. Бородин А. В. Метод онтологического анализа IDEF5 в задачах структурного синтеза динамических моделей угроз // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2006. Т. 13, № 3. С. 474.
3. Бородин А. В. Онтологические модели в экономике безопасности // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Социально-экономическая. 2014. № 2. С. 14-19.
4. Бородин А. В. Техничко-экономическое обоснование внедрения технологии обеспечения целостности и подлинности информации на бумажном носителе при отчужденной обработке документов // Кибернетика и программирование. 2017. № 1. С. 30-47. DOI: 10.7256/2306-4196.2017.1.22192.
5. Бугаев Л. Мобильный маркетинг: Как зарядить свой бизнес в мобильном мире. М.: Альпина Паблишер, 2012. 214 с.
6. Конявский В. А., Гадасин В. А. Основы понимания феномена электронного обмена информацией. Минск: Беллитфонд, 2004. 282 с.
7. Маклаков С. В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion PM. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2008. 224 с.
8. Borodin A. V. System of instrumental and mathematical methods of the solution of task of economy of safety // Global Science and Innovation: materials of the III International Scientific Conference, Chicago, October 23-24th, 2014. Chicago: Publishing office Accent Graphics communications, 2014. P. 314-317.

**REALIZATION OF SECURITY POLICY FOR PROCESSES OF ALOOF PROCESSING  
OF AUTHENTIC INFORMATION**

*Borodin Andrey Viktorovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The conceptual model of process of aloof processing of authentic information for needs of the organization of the protected document flow in the sphere of retail business is developed and investigated. Realization of the corresponding security policy is offered.*

**Keywords:** *document, threat model, conceptual model, security policy, total cost of ownership, data integrity, digital signature, legal recognition, QR-code.*

УДК 621.398

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ  
РАСЧЕТА ЗАБОЙНОГО ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ЗНАЧЕНИЯ  
УРОВНЯ ЗАТРУБНОЙ ЖИДКОСТИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ**

*Смирнов Алексей Владимирович, Шерстнёва Анастасия Алексеевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

*Рассматривается роль контроля забойного и пластового давлений как важнейшего элемента общей системы мониторинга процесса разработки нефтяного месторождения. Представлены алгоритм расчёта забойного давления с учётом значения уровня затрубной жидкости и методика расчёта забойного давления.*

**Ключевые слова:** *забойное давление, динамический уровень, вес столба газа.*

**Введение.** Контроль забойного давления является важнейшим элементом общей системы мониторинга процесса разработки нефтяного месторождения, а промыслово-геофизические методы – одним из его инструментов. Использование в компоновке устройства для вскрытия пластов специализированного геофизического прибора, измеряющего забойное давление, позволяет с высокой степенью достоверности контролировать величину забойного давления на разных этапах «жизни» скважин [1].

В настоящее время, при отсутствии геофизических приборов забойное давление определяется расчетным путем, где в основу расчетов положена информация о динамическом уровне затрубной жидкости нефтедобывающих скважин.

**Актуальной задачей** является совершенствование системы геофизических исследований нефтяных промыслов. Однако подавляющее большинство скважин механизированного фонда охватить исследованиями не представляется возможным. Вызвано это тем, что существующая технология спуска глубинных приборов по межтрубному пространству позволяет производить безаварийные работы только в оборудованных скважинными штанговыми насосами (СШН) скважинах, зенитные углы в которых не пре-

вышают значений 15-20°, в зависимости от диаметров обсадных колонн. Для исследований скважин, оборудованных электроцентробежными насосами (ЭЦН), за исключением блоков погружной телеметрии, измеряющих давление и температуру в месте расположения насоса, технологий не существует.

По оценкам ООО «Лукойл-Пермь», порядка 90 % скважин механизированного фонда традиционными методами исследовать невозможно. Это обстоятельство не позволяет производить равномерный охват скважин геофизическими и гидродинамическими исследованиями, что является основным условием осуществления качественного мониторинга разработки нефтяных месторождений.

Определение важнейшего показателя эксплуатации скважин – забойного давления – в таких условиях осуществляется путем пересчета величины непосредственно измеряемого динамического уровня.

В настоящее время в АО «Автограф» создан инновационный прибор – эхолот с измерителем скорости звука «Автон», позволяющий существенно повысить точность определения значения уровня затрубной жидкости в нефтескважинах за счет непосредственного измерения и последующего учета при расчетах уровня и, как следствие, величину забойного давления в соответствии с принятыми в нефтескважинных компаниях методиками.

В частности, ниже представлена методика расчета забойного давления, принятая в ПАО «Татнефть» [2].

Забойное давление в скважине  $P_{заб}$  вычисляется по формуле

$$P_{заб} = P_{затр} + \frac{(H_{кр} - l_{кр}) - (H_y - l_y)}{10} \cdot \rho_{ж}, \quad (1)$$

где  $P_{затр}$  – давление в затрубном пространстве, МПа;

$H_{кр}$  – уровень кровли пласта, м;

$H_y$  – динамический уровень, м;

$l_{кр}$  – удлинение уровня кровли пласта, м;

$l_y$  – удлинение динамического уровня, м;

$\rho_{ж}$  – плотность затрубной жидкости,  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

В ходе испытаний измерителя уровня затрубной жидкости нефтескважин с адаптацией к параметрам затрубного пространства, производства АО «Автограф», выяснилось, что с увеличением затрубного давления увеличивалась ошибка в определении забойного давления по представленной выше методике в сравнении с измеренным забойным давлением посредством специализированного геофизического прибора [3].

В ходе анализа было установлено, что в представленной методике не учитывается вес столба затрубного газа, находящегося между устьем нефтескважины и динамическим уровнем затрубной жидкости.

Известно, что вес газа  $P_r$  зависит от его плотности:

$$P_r = h \cdot \rho \cdot g,$$

где  $h$  – высота столба жидкости, м;

$\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

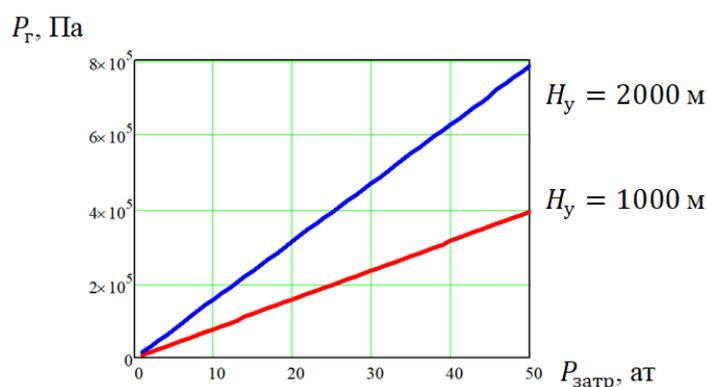
В свою очередь, плотность газа линейно увеличивается при увеличении давления газа. Применительно к рассматриваемому случаю плотность газа затрубного пространства можно представить в виде

$$\rho = \rho_{\text{НУ}} \cdot P_{\text{затр}},$$

где  $\rho_{\text{НУ}}$  – плотность газа при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>;

$P_{\text{затр}}$  – затрубное давление, ат.

На рисунке представлены зависимости веса столба газа от затрубного давления для динамических уровней 1000 и 2000 м, для  $\rho_{\text{НУ}} = 0,8$  (кг/м<sup>3</sup>).



Зависимости веса столба газа от затрубного давления

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод о существенном влиянии веса столба газа на расчет забойного давления по информации о динамическом уровне затрубной жидкости нефтедобывающих скважин. В частности, при затрубном давлении 40 ат. и динамическом уровне 2000 м учет веса столба газа даст поправку значения забойного давления в 7,99 ат.

Таким образом, представляется целесообразным учет в формуле расчета забойного давления (1) веса столба газа:

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{затр}} + P_r + \frac{(H_{\text{кр}} - l_{\text{кр}}) - (H_y - l_y)}{10} \cdot \rho_{\text{ж}}. \quad (2)$$

Для анализа применяемых методов мониторинга эксплуатации скважин по данным промыслово-геофизических исследований также была проанализирована методика ПАО «Роснефть НК». Основными параметрами, необходимыми для осуществления расчетов различных параметров, таких как пластовое, забойное и устьевое давления,

являются: дебит жидкости (газа), обводнённость продукции, газовый фактор (выход конденсата), количество механических примесей в продукции и т. д.

В частности, параметры, используемые для расчёта забойного давления  $P_{заб}$  в нефтесобирающей скважине, таковы:

$Es$  – коэффициент сепарации;

$H_{perf}$  – измеренная глубина до верхних отверстий перфорации (м);

$Udl_{H_{perf}}$  – удлинение на глубине  $H_{vd}$ ;

$H_{pump}$  – глубина спуска насоса;

$D_{cas}$  – внутренний диаметр эксплуатационной колонны (мм);

$H_{din}$  – динамический уровень;

$P_f$  – давление в затрубье;

$P_b$  – давление насыщения (атм);

$Rs$  – замеренный газовый фактор (куб.м/т);

$Q_l$  – дебит жидкости;

$Bo$  – объёмный коэффициент нефти;

$\rho_{oil}$  – плотность нефти в поверхностных условиях;

$Wc$  – объёмная обводнённость;

$\rho_w$  – плотность воды в поверхностных условиях;

$Q_{g_{mes}}$  – замер расхода газа в затрубном пространстве;

$correlation$  – выбранный параметр корреляции;

$D_{tub}$  – внешний диаметр НКТ;

$Bw$  – объёмный коэффициент воды;

$tres$  – пластовая температура (°C);

$Z_{av}$  – сверхсжимаемость газа в затрубье;

$\gamma_{Gas}$  – плотность газа;

$Udl_{H_{pump}}$  – удлинение на фактической глубине спуска;

$Udl_{H_{din}}$  – удлинение на глубине динамического уровня.

Таким образом, в общем виде математическую модель расчёта забойного давления для отдельной нефтесобирающей компании логично представить в виде функции следующего вида:

- для ПАО «Татнефть»:

$$P_{заб} = f(P_{затр}, H_{кр}, l_{кр}, H_y, l_y, \rho_{ж});$$

- для ПАО «Роснефть НК»:

$$P_{заб} = f(Es, H_{perf}, Udl_{H_{perf}}, H_{pump}, D_{cas}, H_{din}, P_f, P_b, Rs, Q_l, Bo, \rho_{oil}, Wc, \rho_w, Q_{g_{mes}}, correlation, D_{tub}, Bw, tres, Z_{av}, \gamma_{Gas}, Udl_{H_{pump}}, Udl_{H_{din}}).$$

Учитывая, что вес столба затрубного газа можно представить как  $P_{\text{зат}} \times e^{\frac{0,03415h_d \bar{\rho}_g}{zT_{\text{cp}}}}$ , можно уточнить дальнейший результат с включением в расчёт слагаемого, определяющего вес столба газа над уровнем затрубной жидкости:

- для ПАО «Татнефть»:

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{зат}} \times e^{\frac{0,03415h_d \bar{\rho}_g}{zT_{\text{cp}}}} + f(P_{\text{затр}}, H_{\text{кр}}, l_{\text{кр}}, H_y, l_y, \rho_{\text{ж}});$$

- для ПАО «Роснефть «НК»»:

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{зат}} \times e^{\frac{0,03415h_d \bar{\rho}_g}{zT_{\text{cp}}}} + f(E_s, H_{\text{perf}}, Udl_{H_{\text{perf}}}, H_{\text{pump}}, D_{\text{cas}}, H_{\text{din}}, P_f, P_b, R_s, Q_l, B_o, r_{o_{\text{oil}}}, W_c, r_{o_w}, Q_{g_{\text{mes}}}, correlation, D_{\text{tub}}, B_w, tres, Z_{\text{av}}, \Gamma_{\text{gas}}, Udl_{H_{\text{pump}}}, Udl_{H_{\text{din}}}).$$

В настоящее время предложенная методика расчета забойного давления внедрена в работу измерителя уровня затрубной жидкости нефтедобывающих скважин с адаптацией к параметрам затрубного пространства (производства АО «Автограф»).

#### Список литературы

1. Черных И. А. Разработка методики мониторинга забойного давления по данным промыслово-геофизических исследований скважин: дис. ... канд. техн. наук. Пермь: Пермский гос. нац. исследовательский университет, 2018.
2. Оптимальный комплекс и периодичность гидродинамических методов контроля за разработкой месторождений, РД, ПАО «Татнефть». 2016. 45 с.
3. Сафина Р. Р. Измеритель уровня затрубной жидкости нефтедобывающих скважин с адаптацией к параметрам затрубного пространства. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018.

#### DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR CALCULATING BOTTOMHOLE PRESSURE GIVEN THE LEVEL OF ANNULUS FLUIDS OF AN OIL WELL

*Smirnov Alexey Vladimirovich, Sherstnyova Anastasia Alekseevna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The role of bottomhole and reservoir pressures, the algorithm for calculating bottom-hole pressure taking into account the value of the level of the annular fluid and the method of calculating bottom-hole pressure are considered.*

**Keywords:** *bottom-hole pressure, dynamic level, the weight of the column of gas.*

УДК 004.42

## АРХИТЕКТУРА ГЕНЕРАТОРА ТЕСТОВЫХ СЦЕН, СОДЕРЖАЩИХ ГРУППОВЫЕ ТОЧЕЧНЫЕ ОБЪЕКТЫ, С ПОДДЕРЖКОЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИСКАЖЕНИЯ

*Уржумов Даниил Владимирович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
urzhumovdv@volgatech.net

*Исследована задача генерации тестовых сцен, содержащих групповые точечные и малоразмерные объекты. Проведен сравнительный анализ моделей представления формы малоразмерных объектов, обеспечивающих инвариантность к геометрическим трансформациям, по возможности параллелизма элементарных операций. Осуществлена классификация моделей групповых точечных объектов по детерминированности их изображения. Исследованы различные категории искажений тестовых сцен, определен порядок применения каждой категории искажения, исключая непроизводительные операции. Спроектирована иерархия классов, реализующая предложенные усовершенствования, а также поддерживающая подключение алгоритмов с заданной сигнатурой из динамических библиотек без перекомпиляции.*

**Ключевые слова:** генерация тестовых сцен, точечные объекты, программная архитектура, искажения изображения, моделирование.

**Введение.** Исследование алгоритмов обнаружения распознавания и классификации групп точечных и малоразмерных объектов (ГТО) требует сбора значительных объемов статистических данных о результатах применения алгоритмов при изменении параметров вносимых искажений. Поскольку задача подбора множества разнообразных реальных сцен, удовлетворяющих заданным параметрам искажений, заведомо не выполнима, целесообразным становится реализация генератора тестовых сцен. Для повышения производительности процедуры тестирования генератор должен представлять результирующие данные в формате, максимально совместимом с тестируемыми алгоритмами. Другим важным требованием является поддержка наибольшего числа алгоритмов для тестирования.

**Цель работы** – спроектировать структуру генератора тестовых сцен, обеспечивающую поддержку большинства алгоритмов обнаружения распознавания и классификации ГТО, а также поддерживающую возможность представления сцен для тестирования в варианте совместимом с каждым из тестируемых алгоритмов.

### **Решаемые задачи:**

- исследовать форматы представления данных, используемые в наиболее распространенных алгоритмах обнаружения распознавания и классификации ГТО и возможности конвертирования форматов;
- исследовать существующие классы эталонных ГТО для определения универсальной формы представления данных о ГТО и входящих в их состав малоразмерных объектов МРО;

- исследовать существующие виды искажений эталонных сцен, чтобы определить их взаимное влияние, делающее выполнение отдельных операций на каждом этапе непродуктивным, а также возможности исключения подобных непродуктивностей;
- спроектировать программную архитектуру генератора, обеспечивающего выполнение предъявленных требований.

**Теоретическую и методическую основу** исследования составили по разработке математических методов и средств автоматической обработки, понимания изображений и распознавания образов, проведенные научными коллективами Поволжского государственного технологического университета. В частности, значительный объем материала по существующим алгоритмам обнаружения, распознавания и классификации ГТО получен из работ Я. А. Фурмана и А. В. Кревецкого с соавторами [1, 2].

Под точечным объектом в исследовании понимается объект, размеры которого сопоставимы с разрешением сенсора. Таким образом, на исследуемом изображении объект представлен в виде одной или нескольких близкорасположенных точек, отличающихся по яркости от подстилающего фона.

**Методика исследования.** Поскольку форма малоразмерного объекта в значительной мере вырождена вследствие малого размера его элементов, большинство алгоритмов распознавания и классификации используют представление, инвариантное к геометрическим преобразованиям, с целью избежать внесения дополнительных искажений.

В качестве примера подобного представления можно предложить контур объекта, состоящий из замкнутой последовательности векторов, начало каждого из которых совпадает с концом предыдущего, как показано на рисунке 1. Подобное представление позволяет обеспечить параллельность выполнения операций при расчете корреляции контуров двух фигур [3].

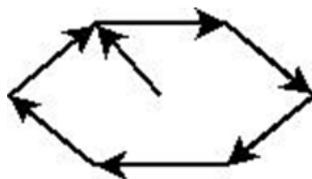
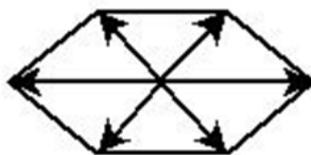


Рис. 1. Представление формы МРО в виде замкнутой последовательности векторов

Альтернативным представлением является набор радиус-векторов, построенных в каждую вершину контура из его центра масс – точки, заданной средними значениями высоты и ширины по всем вершинам контура. Подобное представление, изображенное на рисунке 2, позволяет осуществлять параллельно операции геометрической трансформации фигуры, а также проецирования на матрицу изображения.

Поскольку для получения каждого вектора замкнутой последовательности используются только два соседних вектора данного представления, то операции по преобразованию к виду, обеспечивающему параллельность корреляции, также могут осуществляться параллельно. Возможность данного преобразования приводит к возможности

параллельного вычисления корреляций для представления на основе радиус-векторов с минимальными дополнительными затратами вычислительной мощности. Это делает представление на основе радиус-векторов более предпочтительным для использования в задаче тестирования алгоритмов.



**Рис. 2. Представление формы МРО в виде замкнутой последовательности векторов**

Исследование моделей ГТО позволило выделить две основные категории:

- детерминированные ГТО – порождают предсказуемое число МРО, расположенных по определенной траектории;
- вероятностные ГТО – порождают случайное число МРО с заданными параметрами вероятности появления на возможно ограниченной области.

Подобная классификация приводит к необходимости объединить принципиально разные подходы к генерации объектов под одним интерфейсом, а также обеспечить возможность унифицированной передачи в функцию генерации разного числа параметров различного типа.

Данную задачу можно решить посредством реализации нешаблонного универсального контейнера с шаблонным конструктором. Такой контейнер сможет принимать любой тип данных и хранить его в низкоуровневом виде.

Обеспечение безопасности преобразования данных можно добиться шаблонной операцией кодирования типа числовым значением и хранением типа сохранённых данных в экземпляре контейнера для проверки. В результате можно получить унифицированный интерфейс хранения процедур генерации эталонных объектов.

Потребность в обработке разного числа и типов параметров может быть удовлетворена посредством применения шаблона проектирования фабричный метод на основе списка типов [4]. Подобный подход позволит порождать элементы пользовательского интерфейса на основе, данных полученных из класса, описывающего процедуру генерации модели ГТО.

Проанализировав возможные искажения сцены, можно заметить, что они относятся к трем категориям:

- пропуск объекта модели;
- искажение координат и формы, например, вследствие слияния части изображения с фоном;
- появление ложных изображений, с особенностями фона и локационными шумами.

Рассмотрев совместное применение данных этапов, выявили, что ложные объекты имеют вероятностную природу. Таким образом, случайное искажение координат уже

заложено в алгоритме их генерации. Кроме того, очевидно, что не целесообразно искажать координаты пропущенных объектов эталона, поскольку они не будут фигурировать в сцене.

Это приводит к последовательности операций, представленной на рисунке 3. При программной реализации для поддержания подобной последовательности операций целесообразно задать признак типа процедуры для осуществления упорядочивания по нему. При этом стоит отметить, что отдельные процедуры могут выступать в различных ролях по усмотрению пользователя, что потребует реализации возможности назначения данного признака для каждого использования функции.



Рис. 3. Последовательность внесения искажений, исключая непродуктивные операции

На рисунке 4 представлена укрупненная архитектура генератора эталонных сцен, обеспечивающая выполнение предъявленных требований по совместимости с тестируемыми алгоритмами. Из иерархии исключены классы, отвечающие за графический интерфейс пользователя и взаимодействие с операционной системой. Ссылки на исключенные классы сохранены на диаграмме для лучшего отображения характера взаимодействий элементов архитектуры.

Класс `ParametrData` предоставляет интерфейс для работы с параметрами различного типа, он поддерживает операции копирования, удаления, получения и установки значения, а также генерацию элемента управления пользовательским интерфейсом через абстрактный класс `Control`, инкапсулирующий детали интерфейса и обеспечивающий связь с `ParametrData`.

Для повышения производительности класс `ParametrData` не является абстрактным, вместо этого он принимает указатели на статические методы своих наследников в защищенный конструктор. Это обеспечивает высокопроизводительную статическую диспетчеризацию вместо динамической.

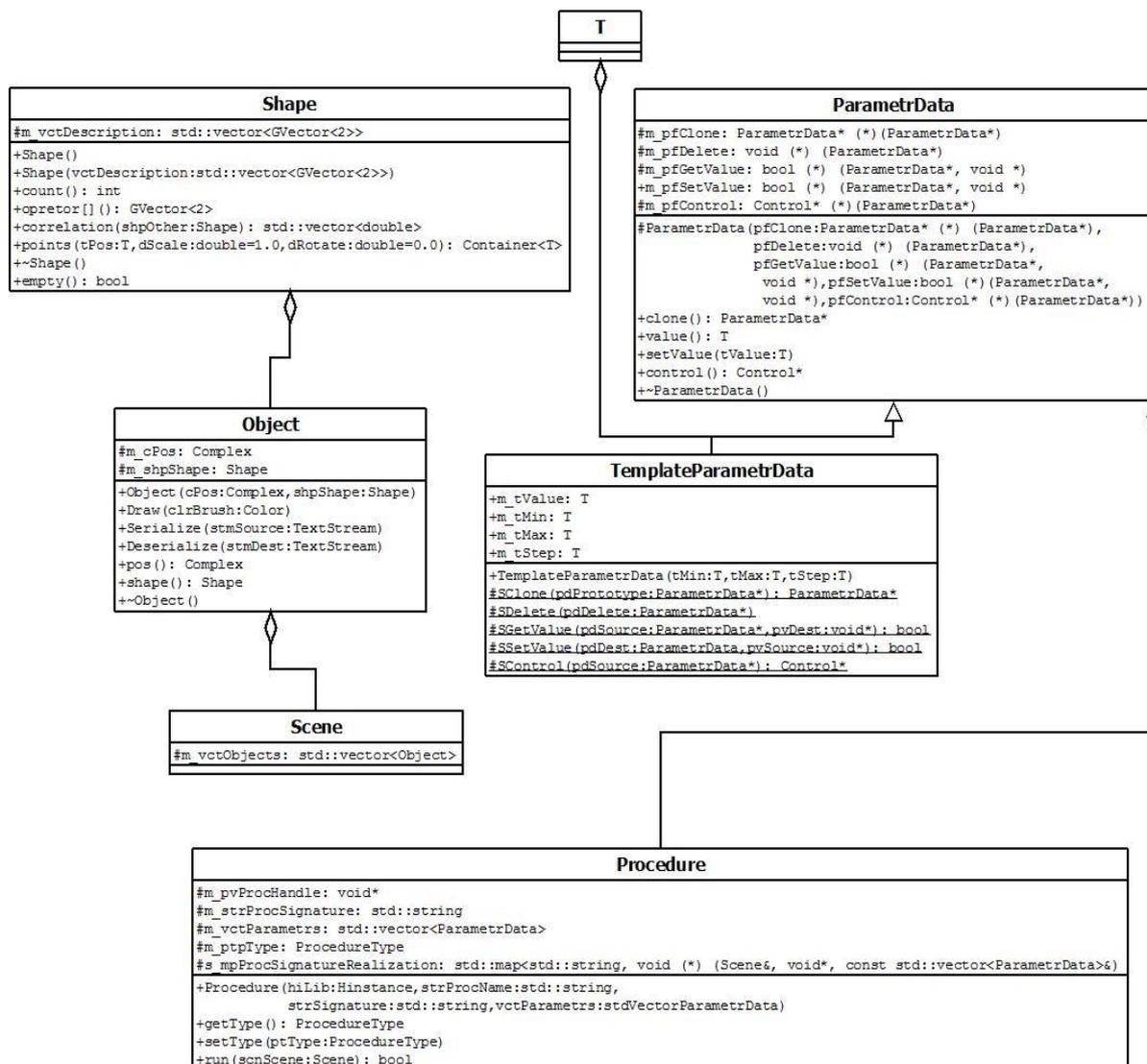


Рис. 4. Укрупненная архитектура генератора эталонных сцен

TemplateParametrData описывает шаблонное семейство классов, реализующих функционал ParametrData для разных типов параметров.

Класс Procedure содержит информацию о применяемых процедурах. Его конструктор принимает указатель на динамическую библиотеку, ее имя и сигнатуру в символьной форме, а также набор параметров. Сам вызов процедуры представлен в виде указателя на тип void. В момент выполнения процедуры класс обращается к статическому отображению символьного представления сигнатуры в функтор, обеспечивающий преобразование указателя на тип void в указатель на тип процедуры и передачу ей параметров из списка.

Поскольку функторы реализованы для многих распространенных сигнатур (в частности, функций генерации случайных значений с различным распределением), то это обеспечивает возможность подключать некоторые новые функции из динамических библиотек без повторной сборки проекта.

Классы Object и Scene описывают аналитическое представление соответственно объекта и сцены и приведены для иллюстрации связи между рассматриваемым аспектами.

### **Выводы**

Полученная архитектура обеспечивает ряд преимуществ:

- поддерживает параллелизм трудоемких операций по построению формы объекта после поворотов и масштабирования, а также корреляционных функций;
- обеспечивает структурирование множества операций для исключения непроизводительных преобразований;
- облегчает подключение новых функций динамических библиотек, в том числе позволяет подключить ряд без перекомпиляции объекта.

В рамках дальнейшего развития комплекса предполагается реализация построения сигнатур по перечню параметров с использованием функциональных языков программирования, что обеспечит возможность подключения любых библиотек и позволит создать на их основе универсальный конструктор для построения сложных алгоритмов генерации.

### *Список литературы*

1. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я. А. Фурман, А. В. Кревецкий, А. К. Передреев и др.; под ред. Я. А. Фурмана. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 592 с.
2. Кревецкий А. В. Инвариантные к форме обнаружение и пространственная локализация групп точечных объектов в трехмерном пространстве // Вестник МарГТУ. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. № 1. С. 47-53.
3. Уржумов Д. В., Кревецкий А. В. Специализированный графический редактор локационных изображений ландшафтных сцен с группами малоразмерных и точечных объектов // Вестник ПГТУ. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. № 2 (16). С. 24-29.
4. Александреску А. Современное проектирование на C++. М.: Вильямс, 2002. 336 с.

### **ARCHITECTURE FOR GENERATOR OF EXPERIMENTAL SCENES, WHICH CONTAIN GROUPS OF POINT OBJECTS, APPLYING VARIOUS ABERRATION ALGORITHMS**

*Urzhumov Daniil Vladimirovich*

Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola

*The task of experimental scenes generation, which contain groups of point objects, is researched. The comparative analysis for small-sized objects shape model, which grant geometric transformations invariance, is performed. Models are compared by ability of parallel execution of operations. The classification of group point objects models by determinism of their images is performed. Different types of aberrations of experimental scenes are explored to determine the applying order for each aberration type to exclude unproductive operations. The class hierarchy, that implements proposed modifications and also supports including of algorithms with the determined signature from dynamic link libraries without recompilation, is designed.*

**Keywords:** *experimental scenes generation, point objects, program architecture, image aberrations, modeling.*

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.012

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШПРЕНГЕЛЬНЫХ БАЛОК ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ

*Актуганов Анатолий Николаевич, Поздеев Виктор Михайлович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
kskio@volgatch.net

*Представлен анализ напряженно-деформированного состояния металлической шпренгельной балки, примененной для усиления ребристых железобетонных плит покрытия. Выполнено сравнение эффективности использования шпренгельной системы и изгибаемого элемента для усиления железобетонных элементов.*

**Ключевые слова:** усиление железобетонных плит покрытия, шпренгельная металлическая балка усиления, техническая эффективность усиления шпренгельными системами.

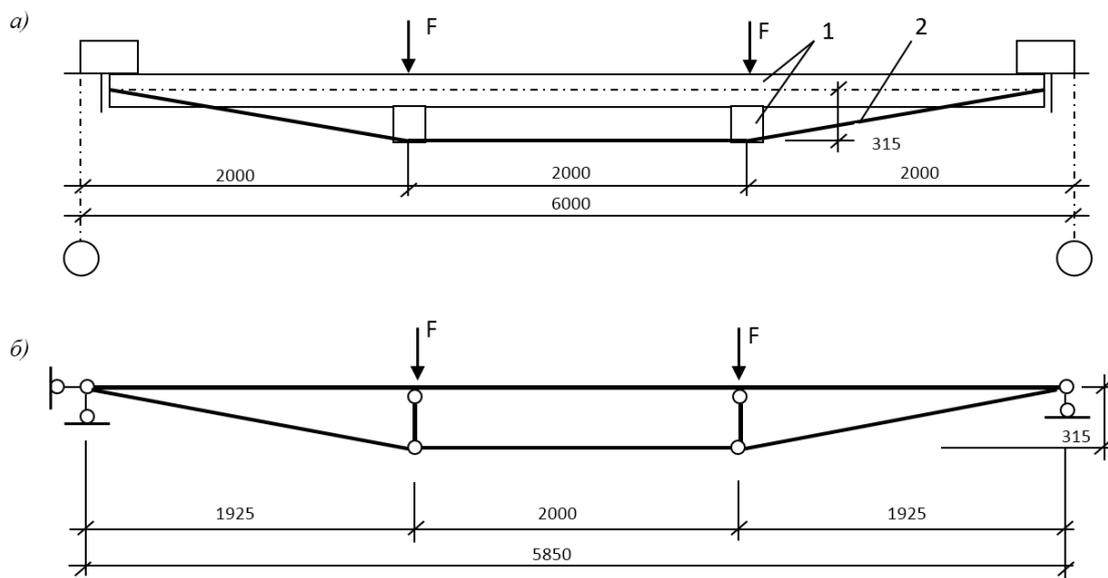
**Введение.** Одним из часто встречаемых видов работ при проектировании реконструкции или капитального ремонта производственных зданий является усиление ребристых железобетонных плит покрытий. При этом возможно использование различных методов повышения несущей способности конструкций, в том числе применение шпренгельных систем. Шпренгельные стержни можно применить в комбинации с усиливаемой железобетонной балкой или плитой. В рекомендациях [1] отмечено (п. 4.50), что шпренгель при совместной работе с усиливаемой железобетонной конструкцией принимает на себя лишь от 5 до 20 % общей нагрузки, причем при условии, что он с самого начала загрузки включен в работу конструкции (натянут). Другим вариантом может быть использование разгружающих металлических балок, выполненных в шпренгельном варианте. Такое усиление применили для ребристых железобетонных плит размером 1,5×6,0 м на участке покрытия цеха производственного предприятия в г. Йошкар-Оле с целью повышения несущей способности покрытия (рис. 1). Металлическая балка принята из двух швеллеров № 14, шпренгель из 2Ø16 А240. Техническая эффективность примененного варианта не определялась.

**Цель работы** – оценка технической эффективности проведенного варианта усиления железобетонных плит методом подведения разгружающих металлических балок, выполненных в шпренгельном варианте.

**Аналитическое моделирование.** Аналитический расчет шпренгельной балки усиления выполнен по методике, изложенной в пособии [2]. Конструктивная и расчетная схема шпренгельной металлической балки показана на рисунке 2. Усиление выполнено таким образом, что нагрузка от усиливаемых железобетонных ребристых плит передается через две точки в телях пролета.



**Рис. 1. Усиление железобетонных ребристых плит покрытия разгружающими металлическими шпренгельными балками**



**Рис. 2. Конструктивная (а) и расчетная (б) схема шпренгельной балки усиления:**  
1) два швеллера №14; 2) шпренгель из двух диаметров 16 А240

Данная система один раз статически неопределимая. В качестве основной системы выбрана схема, показанная на рисунке 3а. С учетом фактических жесткостных характеристик элементов балки определены усилия в основной системе от нагрузки  $F$  и усилия  $x_1$  (рис. 3б).

Значение неизвестной определено из решения канонического уравнения метода сил:

$$\delta_{11} \cdot x_1 = \Delta_{1p}.$$

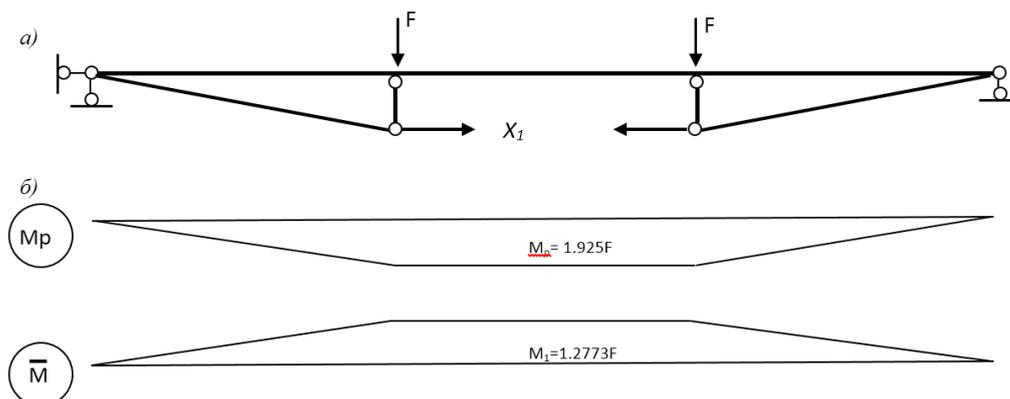


Рис. 3. Основная система (а) и значения моментов (б) от нагрузки  $M_p$  и единичной силы  $X_1$

Окончательные значения изгибающих моментов и усилий в элементах системы показаны на рисунке 4.

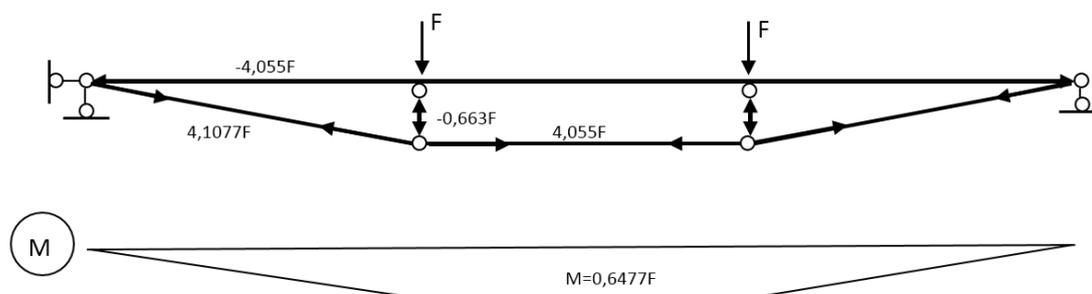


Рис. 4. Окончательные значения усилий и изгибающих моментов в шпренгельной балке

**Анализ результатов.** Полученные результаты расчета показали, что основная металлическая балка испытывает изгиб и сжатие, в элементах шпренгеля возникают усилия растяжения. Наибольшие усилия в шпренгельной балке получены в наклонном элементе шпренгеля. Исходя из несущей способности элемента ( $2\text{Ø}16 \text{ A240}$ ,  $A_s = 4,02 \text{ см}^2$ ) определяется нагрузка на всю систему:

$$R_s \cdot A_s = 4,1077F.$$

Значение силы  $F = 20550 \text{ Н}$  ( $2055 \text{ кгс}$ ), то есть суммарная нагрузка на балку усиления составит  $41100 \text{ Н}$  ( $4110 \text{ кгс}$ ). При этом изменяется напряженно-деформированное состояние основной балки шпренгельной системы: из изгибаемой превратилась в сжато-изогнутый элемент, находящийся под действием  $M = 0,6477F$  и  $N = 4,055F$ . Проверка прочности сжато-изогнутого элемента по [3] проведена по формуле

$$\left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x W_{n,\min} R_y \gamma_c} \leq 1.$$

Проверка показала, что коэффициент использования равен  $0,5$ , то есть действительно разрушение шпренгельной системы может произойти от разрыва шпренгеля.

Для оценки эффективности применения шпренгельной системы определена несущая способность основной металлической балки, состоящей из двух швеллеров № 14 без шпренгелей, при загрузке двумя сосредоточенными силами.

Условие прочности изгибаемого элемента по [3]:

$$\frac{M}{W_{n,\min} R_y \gamma_c} \leq 1.$$

Определение расчетного изгибающего момента и соответствующих сил  $F$  показало, что металлическая балка из двух спаренных швеллеров № 14 воспринимает нагрузку  $2F = 30200$  Н (3020 кгс). Выполнение металлической балки усиления в шпренгельном варианте увеличило несущую способность системы на 36,6 % (несущая способность шпренгельной системы 41100 Н). Таким образом, при выполнении металлической балки в шпренгельном варианте ее несущая способность заметно увеличилась.

С технологической точки зрения, анализ конструктивного решения варианта усиления, представленного на рисунках 1 и 2, показал, что изготовление балки в шпренгельном варианте требует определенных трудозатрат в части разметки, установки и приварки креплений для стержней шпренгеля, установки и крепления гайками самих стержней шпренгеля. В целом в рассматриваемом варианте усиления расход стали на одну балку усиления в исходном варианте составил 258,5 кг.

Альтернативным вариантом усиления железобетонных ребристых плит может быть усиление разгружающими металлическими балками в обычном исполнении. Такое решение предлагается в рекомендациях [1]. В рассматриваемом случае, если применить в качестве усиления металлическую балку из двух швеллеров № 16, которая будет работать как чисто изгибаемый элемент, то несущая способность такой балки при данной расчетной схеме составит  $2F = 44620$  Н (4462 кгс). При этом расход стали составит 237,46 кг. То есть несущая способность выше, а расход стали меньше. Значительно снижается и трудоемкость изготовления, заключающегося только в соединении сваркой элементов балки.

### **Выводы**

1. При использовании в качестве элементов усиления железобетонных плит, разгружающих металлических шпренгельных балок выявлено, что шпренгель может увеличить несущую способность системы. В рассматриваемом случае несущая способность шпренгельной системы балки из двух швеллеров № 14 и двух шпренгелей диаметром 16 мм увеличилась на 36,6 % по сравнению с металлической балкой такого же сечения, но выполненной без шпренгельных затяжек.

2. Сравнение шпренгельной балки с вариантом усиления разгружающей металлической балкой из двух швеллеров № 16 в обычном исполнении (без шпренгеля) показало, что несущая способность второй балки выше. При этом расход стали на усилении уменьшается. Значительно снижается и трудоемкость изготовления такой балки усиления.

3. Применение для усиления железобетонных конструкций металлических шпренгельных систем возможно, но необходимо сравнение с обычным балочным вариантом, обладающим значительно меньшей трудоемкостью.

*Список литературы*

1. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК. М.: Стройиздат, 1989. 104 с.
2. Поляков А. А., Лялина Ф. Г., Игнатов Р. Г. Строительная механика: учебное пособие / под общ. ред. А. А. Полякова. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 424 с.
3. Свод правил: СП16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*: нормативно-технический материал. М.: Минрегион России, 2011. 172 с.

**ASSESSMENT OF TECHNICAL EFFICIENCY APPLICATION OF SPRING BELOWS FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE DESIGN COATINGS**

*Aktuganov Anatoli Nikolaevich, Pozdeev Victor Mikhailovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*An analysis of the stress-strain state of a metal truss beam, used to reinforce ribbed reinforced concrete slabs, is presented. Comparison of the effectiveness of the use of the truss system and the element to be bent to reinforce reinforced concrete elements has been made.*

**Keywords:** *reinforcement of concrete slabs, a coating reinforced metal reinforcement beam, technical efficiency of reinforcement by trussing systems.*

УДК 621.865.8

**ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ г. ЙОШКАР-ОЛЫ**

*Лаврентьев Борис Федорович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
LavrentevBF@volgatech.net

*Рассматривается эскизный проект реконструкции центральной площади города Йошкар-Олы. Площадь должна отвечать национальным и региональным особенностям, быть притягательным местом для гостей и жителей города, способствовать развитию туризма в Республике Марий Эл. Предлагается создать на территории площади два сквера. с динамическими цветомузыкальными фонтанами, цветочными клумбами, зеленью и скамейками, где будут отдыхать жители города и туристы. Особое внимание уделяется созданию робототехнических конструкций, информационных табло, игровых комнат с автоматами для детей, кафе с роботами-официантами. Отмечается, что реконструкция центральной площади города Йошкар-Олы позволит значительно повысить его привлекательность, будет способствовать развитию туризма в Республике Марий Эл.*

**Ключевые слова:** *город, центральная площадь, жители города, гости города, сквер, робототехнические конструкции, динамические цветомузыкальные фонтаны, информационные табло, игровые автоматы, кафе.*

В нашем городе в последние годы выполняется большое количество проектов по благоустройству города. Многие проекты добрые. Они делают город более привлекательным для жителей и гостей города. Но есть и неудачные проекты, которые нуждаются в модернизации.

Известно, что каждый город имеет центральную площадь, где проводятся праздничные или иные мероприятия, проходят митинги, шествия, гуляния в праздничные дни. Центральная площадь должна отвечать национальным и региональным особенностям, быть притягательным местом для гостей и жителей города, способствовать развитию туризма в регионе.

К сожалению, в городе Йошкар-Оле не существует единой центральной площади города, а есть ряд площадей, таких как площадь Ленина, площадь Оболенского–Ноготкова, Патриаршая площадь, Театральная площадь, Кремль и другие, на которых проводятся различные общественные мероприятия.

Поволжский государственный технологический университет в рамках выполнения проекта «Сказочный город Йошкар-Ола» разработал эскизный проект реконструкции центральной части города, включающей площадь Оболенского–Ноготкова и площадь перед зданием правительства.

В соответствии с этим проектом предлагается убрать трибуну и забор у здания правительства. При этом появится новый прекрасный сквер с фонтаном, цветочными клумбами, зеленью и скамейками, где будут отдыхать жители города и туристы, а бабушки на колясках будут возить своих внучат. Вход в здание правительства следует сделать в центре фасада, чтобы руководители республики были ближе к народу.

Ввиду того что праздничные демонстрации проводятся 2-3 раза в год, целесообразно изготовить переносные трибуны и устанавливать их только на время проведения праздничных мероприятий.



Рис. 1. Сквер у здания правительства

На противоположной стороне площади следует установить памятник одному из исторических национальных или легендарных героев, например, Акпарсу. Это недорого,

но создаст симметрию с памятником первому воеводе Царевококшайска, Оболенскому Ноготкову. На площади планируется установить небольшой динамический цветомузыкальный фонтан, проложить дорожки, разбить цветочные клумбы, установить скамеечки для отдыха жителей и гостей города.

Здание картинной галереи органически вписывается в панораму площади. Здесь будут проводиться разнообразные культурные и развлекательные мероприятия, в том числе различные выставки, публичные лекции известных деятелей науки и техники, встречи с известными людьми. Динамическая светомузыкальная реклама у входа в галерею обеспечит информационную привлекательность для посетителей.

Цветочные клумбы, зелень, сказочные фигурки на дорожках, фонтан и тихая приятная музыка сделают сквер одним из самых привлекательных мест для жителей и гостей города.



**Рис. 2. Центральная площадь города**

Далее необходимо преобразовать информационное табло на здании галереи, наконец-то убрать синюю пленку с циферблата часов, чтобы информация о текущем времени была видна на сотни метров, а не так, как сегодня, только вблизи. Следовало бы заменить фигуру ослика на фигуру оленя из сказки Бажова. Каждый час олень будет выходить из дверей, останавливаться в центре и отбивать часы ударами копытца с многочисленными цветными эффектами, имитирующими драгоценные камни. Все это будет сопровождаться, как и сейчас, музыкальной мелодией. В настоящее время выход ослика с иконой ставит в тупик многочисленных гостей и жителей города, так как практически мало кто знает легенду об ослике с иконой.

Сейчас появилось много проблем после сноса гостиницы «Йошкар-Ола», которая многие годы была визитной карточкой города и в многочисленных киосках города красовалась на открытках. За сто пятнадцать миллионов рублей уничтожили прекрасную гостиницу, ближайшие торговые заведения и информационное табло общей стоимо-

стью не менее полутора миллиардов рублей, превратив все это в груды мусора на центральной площади столицы Республики Марий Эл, обнесенного полуразрушенным деревянным забором.

А можно было бы нижние этажи гостиницы передать нашим местным олигархам для их офисов, а их офисы, которые до лихих девяностых были детскими учреждениями, передать обратно детям и решить проблему с детскими садами в городе. Верхние этажи гостиницы можно было бы отдать сиротам или жителям из ветхого жилья.

Вспомним, что на гостинице были часы, которые после предполагаемой их модернизации и замены ламп накаливания на сверхяркие светодиоды, могли бы быть видны за многие километры, а запланированный на крыше часов флюгер, выполненный в виде алого парусника с динамической цветовой подсветкой, были бы лучшим украшением города. Что касается кучи мусора, то его нужно срочно убрать, а на этом месте разбить сквер с небольшим динамическим цветомузыкальным фонтаном, цветочными клумбами, скамейками, зеленым кустарником, дорожками, посыпанными цветным песком. Здесь же будут стоять различные роботизированные конструкции с внутренним и внешним управлением, которые будут общаться с посетителями, отвечать на их вопросы.



Рис. 3. Динамический Цветомузыкальный фонтан в сквере

Планируется на территории сквера построить кафе с роботами-официантами и справочными роботизированными конструкциями, выполненными в виде сказочных героев, которые по запросу окружающих будут давать подробную информацию о городе и проводимых в городе мероприятиях. Планируется открыть игровую комнату для детей с игровыми автоматами в виде роботизированного «Гномика», который будет рассказывать детям сказки и учить их правилам хорошего поведения.

Все вышеперечисленные мероприятия по созданию центральной площади города позволят значительно повысить привлекательность города, будут способствовать развитию туризма в Республике Марий Эл.

Список литературы

1. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Робототехническая конструкция с внутренним внешним управлением: патент на полезную модель RU №142839 U1. Опубл. 10.07.2014.
2. Лаврентьев Б. Ф. Информационные робототехнические конструкции как средство разностороннего развития детей // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2014. С. 104-107.
3. Лаврентьев Б.Ф. Создание динамического цветомузыкального фонтана // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник научных трудов МНПК. Тамбов: ЮКОН, 2015. С. 121-123.
4. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Создание информационных робототехнических конструкций для всестороннего развития и воспитания детей // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник научных трудов МНПК. Тамбов: ЮКОН, 2015. С. 119-121.
5. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Детские информационные робототехнические конструкции для лечебных и культурных центров // Вестник современной науки. 2015. С. 111-113.
6. Лаврентьев Б. Ф. Информационные робототехнические конструкции для культурных и выставочных центров // Научный альманах. 2015. № 5 (7). С. 87-91.
7. Лаврентьев Б. Ф. Информационные робототехнические объекты в современном городе // Альманах современной науки и образования. 2016. № 6. С. 48-50.

**PROJECT RECONSTRUCTION OF THE CENTRAL PART OF THE CITY OF YOSHKAR-OLA**

*Lavrentiev Boris Fedorovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*A design for the reconstruction of the central square of the city of Yoshkar-Ola is considered. The square should meet national and regional characteristics, be an attractive place for visitors and residents of the city, and promote the development of tourism in the Republic. It is proposed to create in the area of two squares. with dynamic color music fountains, flower beds, greenery and benches, where residents and tourists will relax. Particular attention is paid to the creation of robotic structures, information boards, playing rooms with automatic machines for children, a cafe with robots-waiters. It is noted that the reconstruction of the central square of the city of Yoshkar-Ola will significantly increase the attractiveness of the city, will contribute to the development of tourism in the Republic of Mari El.*

**Keywords:** *city, central square, city residents, city guests, square, robotic structures, dynamic color-music fountains, information boards, slot machines, cafes.*

УДК 069.4

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕСТАВРАЦИИ УТРАЧЕННЫХ ЗАВЕРШЕНИЙ  
И ДРУГИХ ЧАСТЕЙ ЦЕРКВИ ПРЕСВЯТОЙ БОГОРОДИЦЫ В СЕЛЕ ИЛЕТЬ**

*Пенкин Юрий Афанасьевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
PenkinYa@volgatech.net

*Выполнен анализ существующего состояния объекта культурного наследия регионального значения «Церковь Пресвятой Троицы, 1887 г.», самого крупного четырехстолпного православного храма XIX века в марийском крае. Проведены научные исследования по реставрации*

утраченных частей церкви: двух ярусов колокольни, центральной и четырех угловых глав четверика, крыльев притвора. Выполнена их графическая реконструкция.

**Ключевые слова:** объект культурного наследия, четырехстолпный храм, реставрация памятника, следы утраченных частей, графическая реконструкция.

**Введение. Анализ существующего состояния.** Процесс реставрации при проведении научно-исследовательских, изыскательских, проектных и производственных работ [1] на значительной части аварийных памятников религиозного назначения России второй половины XIX века характеризуется недостаточностью архивных и других источников.

Реставраторы продолжают исследования и в процессе производственных работ[2]: поиски фотодокументов, изучение работ предполагаемого автора, других характерных аналогов в регионе, детально изучают следы утраченных частей и характер строительных материалов.

Объект культурного наследия «Церковь Пресвятой Троицы, 1887 г.», расположенный по адресу: Республика Марий Эл, Параньгинский район, с. Илеть, ул. Центральная, д. 21 б, за историю своего существования претерпел значительные изменения: разрушены завершения колокольни, крылья притвора (помещения с коробовыми сводами), завершения четверика и восьмерика на четверике храма, порталы входов [3]. На рисунке 1 (съемка со спутника: kartafox.ru) показано аварийное состояние церкви до консервации.

На рисунках 2 и 3 представлено современное состояние церкви после консервации: вид с юго-запада, вид с юго-востока (фото 05.06.2018).



Рис. 1. Вид сверху



Рис. 2. Вид с юго-запада



Рис. 3. Вид с юго-востока

При ведении мониторинга (визуального обследования) автором статьи в разное время выполнены общие обмеры памятника (на рисунке 4 показаны обмеры плана 03.07.2013; на рисунке 5 – обмеры южного фасада 15.05.2019).

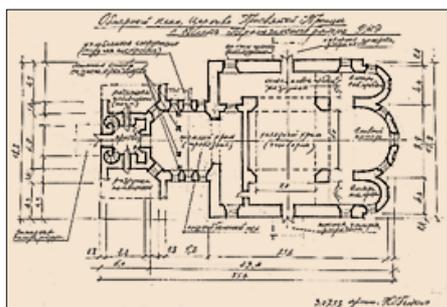


Рис. 4. Обмерный план 2013 г.

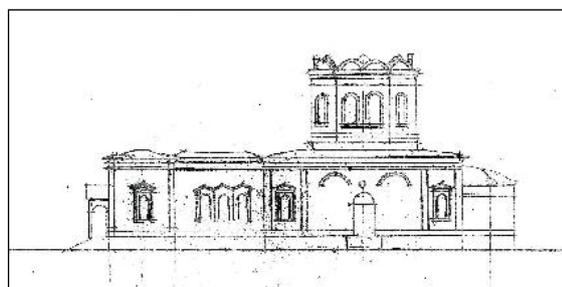


Рис. 5. Обмерный фасад 2019 г.

**Цель работы** – восстановление утраченных частей в процессе реставрации ОКН «Церковь Пресвятой Троицы, 1887 г.» в селе Илеть.

**Задачи:**

1. Первый этап – камеральные и натурные исследования;
2. Второй этап – сравнение аналогов характерных храмов;
3. Графическая реконструкция утраченных доминант и других частей церкви.

### **Определение облика утраченных частей памятника**

**Первый этап исследований.** При визуальном осмотре церкви в 2013 году в северо-восточном углу на своде четверика обнаружена часть следов кирпичной кладки граней восьмигранного барабана, более детальные визуальные обследования на своде четверика были недоступны из-за завалов.

Также в 2013 году по следам выявлены утрата северного и южного крыльев (помещений) притвора с коробовыми сводами (сохранились малые части свода на внешней южной стене притвора на отметке пяты (см. рис. 1)), утрата деталей южного (северного) и западного порталов (см. рис. 2, 3).

На рисунке 6 показано фото 1960-х годов Церкви Пресвятой Троицы в селе Илеть. Это фото является единственным на сегодняшний день документом, свидетельствующим о подлинных пропорциях утраченных частей и используемым при графической реконструкции. Съемка выполнена на отдалении от храма, не искажает пропорции шатра на восьмерике, барабана с поясками и луковицы. Примечательно, что глава-луковица при увеличении являет собой форму царской короны, используемую при строительстве значимых церквей во второй половине XIX века как элемент модерна [4].



Рис. 6. Фото 1960 годов. Форма и пропорции восьмерика



Рис. 7. Восстановление церкви по памяти очевидца

На рисунке 7 представлено изображение церкви, опубликованное в газете «Наша жизнь» Параньгинского района в 2012 году [5]. Рисунок выполнен по памяти не специалистом в области реставрации и стилистики церквей, является лишь условным подтверждением пятиглавия церкви, трехярусной шатровой колокольни (ярус притвора, два яруса над притвором с шатровой кровлей, барабаном, луковицей и крестом) и двухскатного козырька на столбах западной паперти. На рисунке показан существующий

(незавершенный) вид южного портала. В статье уже отмечалось о видимой незавершенности данного облика южного (северного) портала.

Восьмерик колокольни, как и восьмерик основного храма, завершается пояском и килевидными кокошниками с чередующимся ритмом по граням. Графическое завершение восьмериков угловых глав на рисунке 7 не определено.

*Выводы по первому этапу исследований*

1. В Государственных архивах Республики Марий Эл, Кировской области, Республики Татарстан, Вятской митрополии, Марийской митрополии отсутствуют исторические материалы, подтверждающие первоначальный облик церкви Пресвятой Троицы [6];

2. На основании визуального изучения следов в натуре, анализа исторического фото 1960-х годов с сохранившимся шатром и главой восьмерика, а также рисунка, опубликованного в газете, предварительно определен характер утраченных частей церкви:

- пятиглавие с шатровыми кровлями на четверике храма;
- два яруса шатровой колокольни над притвором;
- северное и южное крылья притвора с коробовыми сводами;
- части композиций западного, северного и южного порталов.

**Второй этап исследований.** Наш современник архитектор-реставратор Е. Л. Скопин [7] в записке по поводу объемно-планировочного решения церкви Пресвятой Троицы в с. Илеть предполагает, что «автором проекта Троицкой церкви 1887 г. в с. Илеть Уржумского уезда Вятской губернии (совр. Параньгинский р-н Республики Марий Эл) с наибольшей степенью вероятности является архитектор Вятской и Слободской епархии Евграфий Иванович Мартынов [8] – выпускник Академии художеств, который работал в стиле эклектики с оригинальным самобытным колоритом...».

В записке Е. Л. Скопин предлагает путь поиска архитектурных аналогов (при отсутствии «старых фотографических изображений храма с неразрушенным завершением»), который должен стать результативным, оговариваясь, что Евграфий Иванович Мартынов создал ограниченное число пятиглавых храмовых произведений и никогда не повторялся в композиции и декоре.

Рассмотрены два храма Кировской области (бывшей Вятской губернии) с похожей объемно-планировочной композицией возможного авторства Е. И. Мартынова (табл. 1).

При всей несхожести элементов храмов, рассмотренных в таблице 1, с исследуемой ОКН «Церковь Пресвятой Троицы, 1887 г.» (нет колоколен, пятиглавия построены с купольными, а не с шатровыми кровлями) присутствуют общие объединяющие характеристики:

- близкие по времени годы постройки – 1882 г. и 1889 г.;
- объемно-планировочные особенности сравниваемых четырехстолпных пятиглавых четвериков с трехапсидным алтарем;
- профессионализм и функциональная сдержанность автора в кирпичном декоре.

Таблица 1

№ п/п	Облик	Характеристики
1		<i>Фото с сайта Вятской епархии, 2019 г. Церковь Воскресения 1882 года постройки в с. Кырмыж Кумёнского района Кировской области. Пропорции и завершение без кокошников центрального восьмерика не соответствуют крупному восьмерику с кокошниками исследуемой церкви в селе Илеть</i>
2		<i>Фото с сайта Вятской епархии, 2019 г. Троицкая церковь 1889 года постройки в с. Салобеляк Яранского района Кировской области. Соотношения пропорций центрального и угловых восьмериков отличаются от пропорций центральной главы и утраченных угловых глав исследуемой церкви в селе Илеть</i>

Можно «с наибольшей степенью вероятности» предположить, что все три храма проектировал один автор (предположительно Е. И. Мартынов), беря за основу образцовые проекты пятиглавых храмов К. А. Тона [9] и изменяя их в соответствии с развитием нового эклектического направления – псевдорусского стиля и модерна.

В таблице 2 представлены характерные пятиглавые храмы с шатровыми завершениями, построенные в марийском крае во второй половине XIX века.

Таблица 2

№ п/п	Облик	Характеристики
1		<i>Фото Ю.А. Пенкина, 2018 г. Храм святого Апостола Иоанна Богослова в с. Масканур Республики Марий Эл, 1851-1859 годы. Псевдорусский стиль: 1) трехъярусная шатровая колокольня – доминанта, 2-й и 3-й ярусы – восьмерики; 2) четыре угловые главы с шатровым завершением: отметки карнизов восьмигранных барабанов выполнены на отметке карниза основного восьмерика с купольной кровлей</i>
2		<i>Фото Ю.А. Пенкина, 2018 г. Церковь Сретения Господня в с. Кучка Республики Марий Эл, 1884-1899 годы. Псевдорусский стиль: 1) завершения всех восьмериков – шатры; 2) четыре угловые главы с шатровыми кровлями на восьмериках: отметки карнизов восьмериков угловых глав выполнены на отметке карниза основного восьмерика</i>

№ п/п	Облик	Характеристики
3		<p><i>Фото 1934 г. из архива Оршанского краеведческого музея. Церковь Рождества Иоанна Предтечи в пгт. Оршанка Республики Марий Эл, 1876 г.</i></p> <p><i>Псевдорусский стиль:</i></p> <p><i>1) завершения всех восьмериков – шатры;</i></p> <p><i>2) все восьмерики завершаются поясками с кокошниками-парапетами</i></p>

### *Выводы по второму этапу исследований*

Изучение аналогов в таблицах 1 и 2, а также результаты первого этапа исследований позволили представить авторскую методику проектирования в XIX веке и выполнить графическую реконструкцию форм и пропорций утраченных частей.

Для удобства определения размеров графической реконструкции принимаем модуль (М), равный 1,3 метра, – ширина окна фасадных частей 1-го этажа церкви (четверика, трапезной, притвора). Рассматриваем ширину и высоту утраченных частей.

1. Угловая глава на четверике и ее части: кирпичный восьмерик, шатер, барабан, луковица, яблоко, восьмиконечный крест:

- на основании изучения аналогов в таблицах 1 и 2 можно утверждать, что восьмерики выполнялись в кирпиче и завершались кирпичными же сводами [10];

- ширина восьмерика угловых глав в большинстве аналогов привязывается к расположенному под ним на четверике декору, в нашем случае это расстояние между пилястрами – 4 М; в соответствии с возможными пропорциями композиции пятиглавия принимаем ширину углового восьмерика 3,5 М;

- высота углового кирпичного восьмерика равна половине высоты угловой главы до завершения шатра и составляет, по расчетам, 5 М (в аналогах завершение шатра угловых глав в основном привязано к карнизу центрального восьмерика);

- высота шатра угловой главы 5 М;

- ширина восьмигранного барабана 0,5 М, высота барабана 1,0 М;

- горизонтальный диаметр коронообразной луковицы в самом широком месте 1,25 М и высота луковицы от карниза барабана до яблока 2,25 М;

- высота восьмиконечного креста угловой главы 1,4 М.

2. Утраченные шатер, барабан и луковица сохранившегося центрального кирпичного восьмерика. Размеры рассчитаны по фото 1960-х годов, но здесь приводятся в общем модуле:

- ширина шатра у основания 13,2 М;

- высота шатра от его основания до основания барабана 12,5 М;
- ширина восьмигранного барабана 1,6 М;
- высота восьмигранного барабана 2,5 М;
- горизонтальный диаметр коронообразной луковицы в самом широком месте 3,5 М; высота коронообразной луковицы от карниза барабана до яблока 5 М;
- высота восьмиконечного креста 2,8 М.

3. Ширина и высота кирпичных ярусов колокольни в основном характеризуются функциональными особенностями – качеством и наибольшим расстоянием распространения звона. Причем высота 2-го и 3-го ярусов незначительно отличается: стройность восприятия колокольни достигается за счет пирамидального сужения ярусов, кровли шатра и луковицы с крестом:

- ширина 2-го яруса 7, 5 М; высота 2-го яруса от карниза до карниза 9,5 М;
- ширина 3-го яруса 7, 0 М; высота 3-го яруса от карниза до карниза 8,0 М;
- высота шатра колокольни от карниза до основания барабана 9,5 М;
- ширина и высота восьмигранного барабана колокольни соответственно 0,75 и 1,4 М;
- горизонтальный диаметр коронообразной луковицы в самом широком месте колокольни 1,4 М; высота коронообразной луковицы колокольни от карниза барабана до яблока 2,5 М;
- высота восьмиконечного креста колокольни 2,1 М;

4. Проанализировав результаты исследований, автор пришел к убеждению, что завершения восьмериков угловых глав в соответствии с большинством рассмотренных аналогов для гармонии облика храма надо выполнять кокошниками (по одному на грани), подчеркнутыми карнизным пояском.

5. Декор восстанавливаемых частей выполняется гармоничным существующему декору.

6. На каждой грани кирпичного восьмерика угловой главы в соответствии с аналогами делаются арочные ниши – фальшокна.

7. Размеры и формы композиций западной, южной (северной) папертей (с предполагаемыми фресками, фланкирующими входы), а также северного и южного крыльев притвора необходимо уточнить во время научного руководства производственными работами (показаны на рис. 2, 3, 4, 8, 9).

**Результаты.** Определены формы и размеры утраченных частей церкви Пресвятой Троицы 1887 года постройки в селе Илеть (рис. 8, 9), которые необходимо уточнять в дальнейших исследованиях и в ходе анализа следов утрат во время научного руководства за проведением работ.

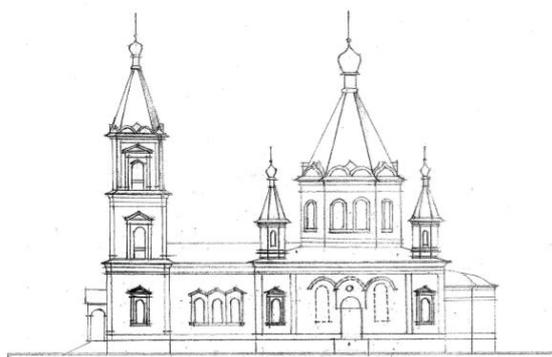


Рис. 8. Южный фасад

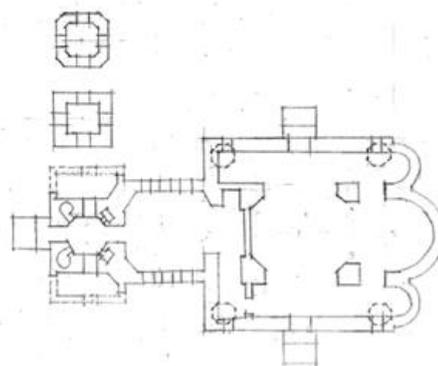


Рис. 9. План этажа с утратами

**Заключение.** На основе научных исследований выполнена графическая реконструкция утраченных частей уникального памятника архитектуры церкви Пресвятой Троицы в селе Илеть.

#### Список литературы

1. Статья 43. Реставрация памятника или ансамбля // Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 21.02.2019) «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации».
2. П.4.14. СРП 2007. Свод реставрационных правил.
3. Чайникова О.О. Сохранение лицевых фасадов зданий как способ воссоздания памятников архитектуры // Фундаментальные исследования. 2017. № 2.
4. Фото-аналог в Архиве Мироносицкого монастыря с. Ежово, Медведевский район, Республика Марий Эл: глава, напоминающая силуэт царской короны, установлена в конце XIX века на соборном храме монастыря Жен Мироносиц села Ежово при реконструкции храма.
5. Наша жизнь: газета на русском языке / главный редактор Р. Г. Хусаинов. URL: mincult12.ru
6. Письменные ответы из архивов находятся в ООО «РемМастер» Республика Марий Эл.
7. Скопин Евгений Львович // Сайт Богородского района... URL: bogorodskoe43.ru
8. Художники... Евграф Иванович Мартынов. URL: artchive.ru
9. Тон К. А. и его ученики. Образцовые проекты каменных церквей в русско-византийском стиле вместимостью до 700 человек № 9, 25. URL: kenozerjelive.ru/kalitin-uspchurch.htm.
10. Киселев И. А. Датировка кирпичных кладок XVI-XIX вв. по визуальным характеристикам. М.: Спецпроектреставрация, 1993. Подготовка к переизданию.

#### RECOMMENDATIONS FOR THE RESTORATION OF THE LOST ENDINGS AND OTHER PARTS OF THE CHURCH OF THE HOLY VIRGIN IN THE VILLAGE OF ILET

*Penkin Yuriy Afanasievich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The analysis of the existing state of the object of cultural heritage of regional importance "Church of the Holy Trinity, 1887", the largest four-column Orthodox Church of the XIX century in the Mari region.. Scientific research on the restoration of the lost parts of the Church: two lost tiers of the bell tower, the Central and four corner heads of the quadrangle, the wings of the porch. Graphic reconstruction of the lost parts is performed.*

**Keywords:** *object of cultural heritage, four-pillar temple, restoration of the monument, traces of lost parts, graphic reconstruction.*

УДК 628.1

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ

*Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола  
PozdeevAG@volgatech.net

*Определены физико-химические показатели состояния водного объекта. Для оценки их значимости вычислены зависимости мультипликативного показателя от влияющих факторов в пакете Statistica. Для анализа динамики влияния физико-химических характеристик качества воды на интегральный показатель в прикладной среде MathCad построены однофакторные зависимости интегрального показателя и его частных производных от наиболее значимых влияющих факторов.*

**Ключевые слова:** мультипликативные функции, интегральный показатель, качество воды, физико-химические свойства, MathCad.

**Введение.** Расчет качества водозаборов для систем водоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов из водохранилищ начинается с выбора наиболее благоприятных участков акватории с точки зрения минимума загрязняющих веществ различной физической и химической природы [5]. Отсутствие автоматизированных методик, сочетающих в себе анализ распределения физико-химических параметров и их синергетического влияния на пригодность природных вод к использованию, вызывает необходимость разработки интегральных показателей качества воды и выработки методов вычисления их значений от каждого отдельного показателя [2]. В этой связи применение автоматизированных средств оценки качества воды является актуальной задачей.

**Цель работы** состоит в создании методов расчета интегрального мультипликативного показателя качества природных вод и характеристике его изменения в зависимости от физико-химических факторов загрязнения воды.

**Решаемые задачи:** 1) построение связи интегрального показателя качества воды с влияющими на него физико-химическими факторами; 2) определение численных значений связи между интегральным показателем и содержанием химических и физических составляющих в прикладной среде MathCad.

**Математическое моделирование.** Для оценки системы водозаборов использован мультипликативный интегральный показатель качества воды

$$Y = pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g,$$

где  $pH$  – водородный показатель (логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком:  $pH = -\log [H^+]$ );  $EC$  ( $EC \mu S/cm$ ) – электропроводность раствора по показаниям кондуктометра;  $Na$  – содержание солей натрия;  $Ca\_Mg$  – содержание кальция

и магния;  $K$  – содержание солей калия;  $HCO_3$  – содержание гидрокарбонатов (кислые соли угольной кислоты);  $Cl$  – содержание хлора. Численные значения степени показателя качества воды, вычисленные в пакете Statistica на основании данных измерений, равны:  $a: = -0.15886$ ;  $b: = -6.46795$ ;  $c: = 2.64047$ ;  $d: = 5.6507$ ;  $e: = 0.38866$ ;  $f: = -0.07648$ ;  $g: = -1.90761$  [1].

Ниже приводится анализ влияния загрязняющих веществ на интегральный показатель качества воды на основе мультипликативных функций, выполненный в среде Mathcad [3]. Многофакторная зависимость мультипликативного показателя определяется путем автоматической подстановки указанных выше степеней в исходную функцию [4]. На этом основании последовательно вычисляются частные производные интегрального показателя от перечисленных выше семи переменных. Все зависимости однофакторного типа, включая производные, построены в виде графиков.

Многофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от переменной  $pH$  (рис. 1, а) имеет вид

$$Y(pH) = pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g ;$$

$$Y(pH) \rightarrow \frac{Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}} .$$

Многофакторная зависимость частной производной интегрального показателя качества воды от переменной  $pH$  (рис. 1, б) запишется в форме

$$\frac{d}{dpH} Y(pH) \rightarrow -\frac{0.15886 \cdot Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{1.15886}} .$$

Зависимость интегрального показателя качества воды от переменной  $pH$  будет

$$Y(pH) := pH^a \frac{d}{dpH} Y(pH) \rightarrow -\frac{0.15886}{pH^{1.15886}} Y'(pH) := \frac{0.15886}{pH^{1.15886}} .$$

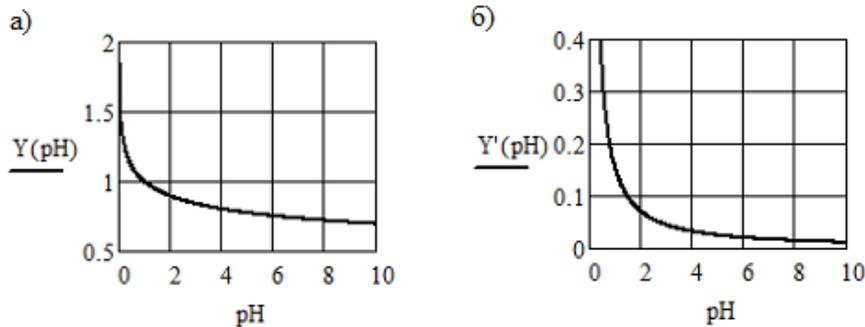


Рис. 1. Однофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $pH$  и его частной производной

Многофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от переменной  $EC$  (рис. 2, а) представляется в виде

$$Y(EC) := pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g,$$

$$Y(EC) \rightarrow \frac{Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Многофакторная зависимость частной производной интегрального показателя качества воды от переменной  $EC$  (рис. 2, б) приобретает значение

$$\frac{d}{dEC} Y(EC) \rightarrow -\frac{6.46795 \cdot Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{7.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Зависимость интегрального показателя качества воды от переменной  $EC$  имеет вид

$$Y(EC) := EC^b \frac{d}{dEC} Y(EC) \rightarrow -\frac{6.46795}{EC^{7.46795}} Y'(EC) := \frac{6.46795}{EC^{7.46795}}.$$

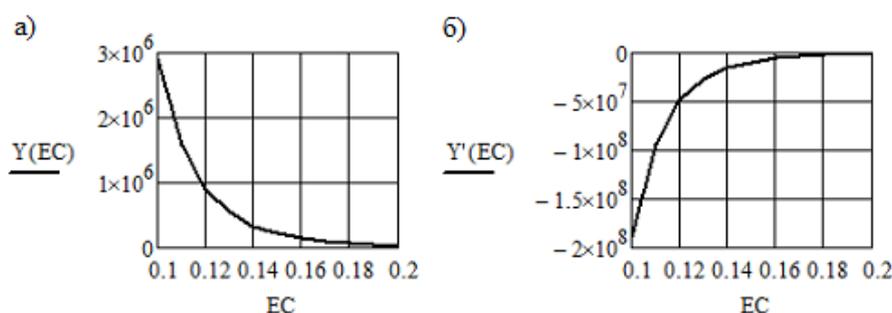


Рис. 2. Однофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $EC$  и его частной производной

Многофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от переменной  $Na$  (рис. 3, а) может быть выражена таким образом:

$$Y(Na) := pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g;$$

$$Y(Na) \rightarrow \frac{Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Многофакторная зависимость частной производной интегрального показателя качества воды от переменной  $Na$  (рис. 3, б) имеет следующий характер:

$$\frac{d}{dNa} Y(Na) \rightarrow \frac{2.64047 \cdot Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{1.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $Na$  имеет вид

$$Y(Na) := Na^c \frac{d}{dNa} Y(Na) \rightarrow 2.64047 \cdot Na^{1.64047} Y'(Na) := 2.64047 \cdot Na^{1.64047}.$$

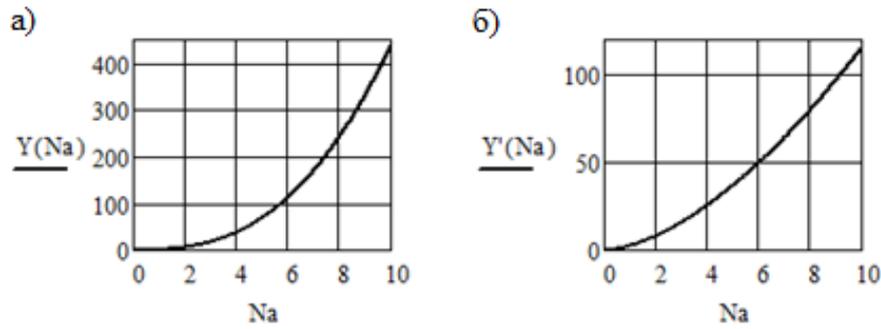


Рис. 3. Однофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания Na и его частной производной

Многофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания Ca и Mg (рис. 4, а) запишется в форме

$$Y(Ca\_Mg) := pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g;$$

$$Y(Ca\_Mg) \rightarrow \frac{Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

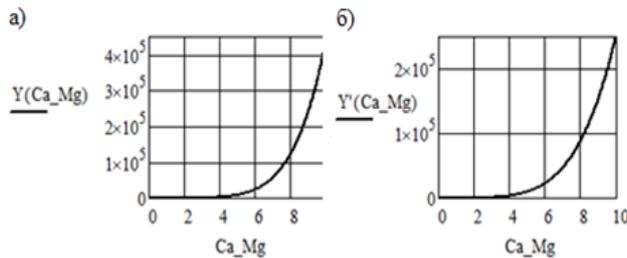


Рис. 4. Однофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания Ca и Mg и их частной производной

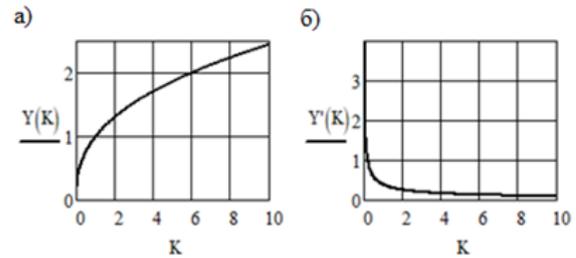


Рис. 5. Однофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания K и его частной производной

Многофакторная зависимость частной производной интегрального показателя качества воды от переменной Ca\_Mg (рис. 4, б) имеет вид

$$\frac{d}{d(Ca\_Mg)} Y(Ca\_Mg) \rightarrow \frac{5.6507 \cdot Ca\_Mg^{4.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Зависимость интегрального показателя качества воды от содержания Ca и Mg равна

$$\frac{d}{d(Ca\_Mg)} Y(Ca\_Mg) \rightarrow 5.6507 \cdot Ca\_Mg^{4.6507} \cdot Y'(Ca\_Mg) := 5.6507 \cdot Ca\_Mg^{4.6507}.$$

Многофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания K (рис. 5, а) равна

$$Y(K) := pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g;$$

$$Y(K) \rightarrow \frac{Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Многофакторная зависимость частной производной интегрального показателя качества воды от переменной  $K$  (рис. 5, б) представляется в виде

$$\frac{d}{d(K)} Y(K) \rightarrow \frac{0.38866 \cdot Ca\_Mg^{5.6507} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot K^{0.61134} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $K$  запишется как

$$Y(K) := K^e \frac{d}{dK} Y(K) \rightarrow \frac{0.38866}{K^{0.61134}} Y'(K) := \frac{0.38866}{K^{0.61134}}.$$

Многофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $HCO_3$  (рис. 6, а) имеет вид

$$Y(HCO_3) := pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g;$$

$$Y(HCO_3) \rightarrow \frac{Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

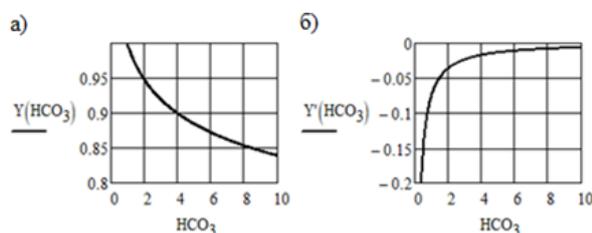


Рис. 6. Однофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $HCO_3$  и ее частной производной

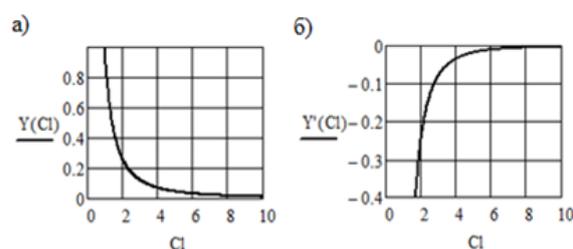


Рис. 7. Однофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $Cl$  и его частной производной

Многофакторная зависимость частной производной интегрального показателя качества воды от переменной  $HCO_3$  (рис. 6, б) представится как

$$\frac{d}{d(K)} Y(HCO_3) \rightarrow \frac{0.38866 \cdot Ca\_Mg^{5.6507} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{1.07648} \cdot K^{0.61134} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $HCO_3$  будет

$$\frac{d}{d(HCO_3)} Y(HCO_3) \rightarrow -\frac{0.07648}{HCO_3^{1.07648}} \cdot Y'(HCO_3) := -\frac{0.07648}{HCO_3^{1.07648}}.$$

Многофакторная зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $Cl$  (рис. 7, а) имеет вид

$$Y(Cl) := pH^a \cdot EC^b \cdot Na^c \cdot (Ca\_Mg)^d \cdot K^e \cdot HCO_3^f \cdot Cl^g;$$

$$Y(Cl) \rightarrow \frac{Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{1.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Многофакторная зависимость частной производной интегрального показателя качества воды от переменной  $Cl$  (рис. 7, б) запишется как

$$\frac{d}{d(Cl)} Y(Cl) \rightarrow \frac{1.90761 \cdot Ca\_Mg^{5.6507} \cdot K^{0.38866} \cdot Na^{2.64047}}{Cl^{2.90761} \cdot EC^{6.46795} \cdot HCO_3^{0.07648} \cdot pH^{0.15886}}.$$

Зависимость интегрального показателя качества воды от содержания  $Cl$  представляется в виде

$$Y(Cl) := Cl^g \frac{d}{dCl} Y(Cl) \rightarrow \frac{1.90761}{Cl^{2.9076}} Y'(Cl) := \frac{1.90761}{Cl^{2.90761}}.$$

**Интерпретация результатов.** Анализ графиков однофакторных зависимостей интегрального показателя от физико-химических показателей показывает, что с ростом содержания  $pH$  интегральный показатель и его производная снижаются. Рост электропроводности раствора по показаниям кондуктометра  $EC$  приводит к снижению интегрального показателя и росту его производной. Рост содержания  $Na$ ,  $Ca$ ,  $Mg$  приводит к увеличению интегрального показателя и его производной. Повышение содержания  $K$  вызывает рост интегрального показателя и уменьшение его производной. Повышение содержания  $HCO_3$  и  $Cl$  уменьшает величину интегрального показателя и увеличивает его производную.

#### Выводы

1. Для определения необходимых пунктов водозабора производится выбор наиболее благоприятных, с точки зрения минимума загрязнений, пунктов водоснабжения.
2. Техническая реализация предлагаемого метода сводится к построению таблицы связи интегрального показателя, логарифмирования полученных результатов и статистической обработки для получения многофакторного регрессионного соотношения. После получения коэффициентов уравнения регрессии производится потенцирование и определение показателей мультипликативных функций. В результате устанавливается значимость интегральных показателей и производится выбор наиболее благоприятных точек водозабора.
3. Определены численные значения водородного показателя, электропроводности, содержания ионов натрия, кальция и магния, калия, хлора, а также гидрокарбонатов в пунктах водозабора. Для расчета использован пакет Statistica.
4. Вычисления в прикладной среде Mathcad с помощью механизма символьных функций позволили построить мультипликативные показатели качества воды, многофакторные и однофакторные связи между ними и их частные производные.

Список литературы

1. ИСО 10304-1-92. Качество воды. Определение растворенных фторида, хлорида, нитрита, ортофосфата, бромиды, нитрита и сульфита методом ионной хроматографии. Часть 2: Метод для загрязненных вод.
2. Кобринский Н. Е., Майминас Е. З., Смирнов А. Д. Введение в экономическую кибернетику: учебное пособие. М.: Экономика, 1975. 343 с.
3. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс. СПб.: Питер, 2003. 448 с.
4. Арзамасцев А. Д., Кузнецова Ю. А., Поздеев А. Г. Моделирование эффективности освоения водных ресурсов на основе производственных функций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2013. № 1. С. 66-79.
5. Фрог Б. Н. Водоподготовка. М.: МГУ, 2001. 680 с.

**NATURAL WATER QUALITY ANALYSIS ON THE BASIS OF MULTIPLICATIVE FUNCTIONS**

*Pozdeev Anatoly Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolievna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Physical and chemical characteristics of the water body condition were determined. To assess their significance, we calculated dependences of an multiplicative index on influencing factors in Statistica package. To analyze the dynamics of influence of the physical and chemical characteristics of water quality on an integral index, we built one-factor dependences of the integral index and its partial derivatives on the most significant influencing factors in MathCad.*

**Keywords:** *multiplicative functions, integral index, water quality, physical and chemical characteristics, MathCad.*

УДК 628.1

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПУНКТОВ ВОДОЗАБОРА ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ**

*Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола  
PozdeevAG@volgatech.net

*На основе метода композиций бинарных нечетких отношений установлены связи между качеством воды и пунктами водозабора. В процессе анализа получены матрицы, определяющие наибольшие и наименьшие уровни загрязнения вод. Уровни качества вод, разделенные на пять классов, снабжены критериями отбора источников воды по отдельным видам загрязняющих веществ.*

**Ключевые слова:** *композиция, нечеткие множества, матрицы уровней загрязнения, водозабор, качество воды.*

**Введение.** Анализ характеристик пунктов водозабора водохранилища гидроузла основан на методе композиций бинарных нечетких отношений качества воды и источников [5]. Для получения информации об отношениях качества воды с пунктами ис-

точников должны быть составлены математические объекты, связывающие, с одной стороны, экстремумы предельно допустимых концентраций загрязнений с качественными оценками уровней их содержания в анализируемых источниках воды. Градация качества имеет пять уровней – от высокого до негативного [4]. С другой стороны, формируется матрица связей между величинами загрязнений, выраженных количественно, и пунктами водозабора. Теория нечетких множеств применяется для установления связи между пятью качественными уровнями природных вод с пунктами водозабора. Таким образом, из состава рассмотрения исключаются количественные значения физико-химических факторов, что упрощает условия принятия решения по выбору наилучших пунктов водоснабжения [3].

Актуальность работы определяется необходимостью перевода количественных показателей состояния водных объектов в пятибалльную систему качественных оценок, пригодную для лиц, принимающих решения, не имеющих достаточной подготовки в области оценки влияния величины физических параметров на их экологические характеристики.

**Цель работы** – создание средств шкалирования качественной оценки характеристик водных источников при большом количестве физико-химических факторов и пунктов водозабора.

**Решаемые задачи:** 1) составление матриц наименьших и наибольших загрязнений воды по физико-химическим показателям; 2) составление матриц связи между пунктами водозаборов и содержащимися в них загрязнениями; 3) получение данных о качестве воды при отдельных концентрациях загрязняющих веществ.

**Математическое моделирование.** Для создания нечетких отношений используются файлы минимальных и максимальных значений допустимых загрязнений в пунктах водозабора, включая следующие величины: водородный показатель рН (логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком,  $pH = -\log[H^+]$ ); электропроводность раствора по показаниям кондуктометра ЕС ( $EC_{\mu S/cm}$ ); содержание солей натрия Na; содержание кальция и магния Ca\_Mg; содержание солей калия K; содержание гидрокарбонатов (кислые соли угольной кислоты)  $HCO_3$ ; содержание хлора Cl [1]. Для создания файлов Матрица Mmin.txt и Матрица Mmax.txt открывается исходный файл с таблицей в Word, выделяются табличные данные, которые копируются и вставляются в блокнот, из которого и формируется текстовый файл.

Матрицы минимального и максимального значений позволяют определить среднее значение загрязнения, относящееся к различным уровням оценок состояния от высокого до негативного.

В качестве второй матрицы значений используется таблица нечеткого отношения водозаборов и содержание загрязнений по перечисленным семи видам химических и иных включений. Извлечение содержимого указанной матрицы производится путем обращения к текстовому файлу, записанному в исходной папке. Обработка двух матриц

в процедуре max-min-композиции происходит в цикле, приводящем к новой матрице, в которой исключаются концентрации загрязняющих веществ, а отдельные точки водозаборов (общим числом 28).

Результирующая таблица имеет пять видов качества воды, отнесенных к каждой точке водозабора. При заданных значениях перечисленных выше семи загрязнений могут быть индивидуально определены их качественные уровни. Решение последней задачи производится с помощью структур логических операторов в среде Mathcad [2].

На первом этапе осуществляется ввод матриц наименьших и наибольших значений загрязнений воды (рис. 1, 2).

Для создания файлов Матрица Mmin.txt и Матрица Mmax.txt открывается исходный файл с таблицей в Word, выделяются только табличные данные, которые копируются и вставляются в блокнот, из которого и формируется текстовый файл.

Mmin :=

D:\...\Матрица Mmin.txt

pH	ЕС	Na	Ca+Mg	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	
6.5	0	0	0	0	0	0	Высокое
7.5	750	75	54	30	25	50	Среднее
8.5	1.5 × 10 <sup>3</sup>	100	90	50	50	70	Низкое
9.5	2.25 × 10 <sup>3</sup>	150	110	90	85	80	Очень низкое
0	3 × 10 <sup>3</sup>	200	150	100	115	90	Негативное

Рис. 1. Матрица наименьших значений загрязнений воды

Mmax :=

D:\...\Матрица Mmax.txt

pH	ЕС	Na	Ca+Mg	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	
7.5	750	75	54	30	25	50	Высокое
8.5	1.5 × 10 <sup>3</sup>	100	90	50	50	70	Среднее
9.5	2.25 × 10 <sup>3</sup>	150	110	90	85	80	Низкое
14	3 × 10 <sup>3</sup>	200	150	100	115	90	Очень низкое
4	3.1 × 10 <sup>3</sup>	250	200	120	150	100	Негативное

Рис. 2. Матрица наибольших значений загрязнений воды

Матрица M1 содержит среднее нечеткое отношение содержания загрязнений и качества воды (рис. 3).

Формирование матрицы M1 производится поэлементным сложением содержимого матриц Матрица M1.txt, Матрица M2.txt, сгенерированных в текстовых файлах (рис. 4).

N<sub>уровней</sub> := 5    N<sub>факторов</sub> := 7

M1 :=

```

for i ∈ 0..Nуровней - 1
  for j ∈ 0..Nфакторов - 1
    M1i,j ← (Mmini,j + Mmaxi,j) / 2
  continue
M1
    
```

Рис. 3. Процедура сложения элементов матрицы M1

M1 =

pH	ЕС	Na	Ca+Mg	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	
7	375	37.5	27	15	12.5	25	Высокое
8	1.125 × 10 <sup>3</sup>	87.5	72	40	37.5	60	Среднее
9	1.875 × 10 <sup>3</sup>	125	100	70	67.5	75	Низкое
11.75	2.625 × 10 <sup>3</sup>	175	130	95	100	85	Очень низкое
2	3.05 × 10 <sup>3</sup>	225	175	110	132.5	95	Негативное

Рис. 4. Матрица M1

Вторая матрица M2 представляет собой нечеткое отношение водозаборов и содержания загрязнений. Табличная расшифровка матрицы M2 приведена в таблице 1 (представлены первые 10 точек водозабора из 28).

Извлечение содержимого матрицы M2 из табличной расшифровки, сгенерированной в текстовом файле Матрица M2.txt, представлено на рисунке 5.

Таблица 1

Исходная матрица состояния водозаборов по содержанию загрязнений

	k-1	k-4	k-6	k-7	k-18	k-21	k-24	k-28	k-30	k-33
pH	7.93	7.75	7.36	7.03	7.41	7.96	7.79	7.87	7.75	7.93
ЕС	0.59	1.15	0.51	0.61	0.82	1.63	0.82	0.54	0.53	0.54
Na	1.02	1.81	0.52	0.53	0.78	1.8	1.66	0.53	0.86	0.51
Ca+Mg	3.5	8	4	3.5	5.5	10	4.5	2.5	3.5	2.5
К	0.34	1.2	0.5	0.91	1.3	4.28	0.84	0.84	0.58	1.17
HCO <sub>3</sub>	4.6	4.35	3.95	6	3	4.1	2.6	2.95	2.95	2.75
Cl	1.75	2	1.25	1.25	1.5	2.25	2.25	1.75	1.5	1.5

M2 :=



D:\2...\Матрица M2.txt

M2 =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	7.93	7.75	7.36	7.03	7.41	7.96	7.79	7.87	7.75	7.93
1	0.59	1.15	0.51	0.61	0.82	1.63	0.82	0.54	0.53	0.54
2	1.02	1.81	0.52	0.53	0.78	1.8	1.66	0.53	0.86	0.51
3	3.5	8	4	3.5	5.5	10	4.5	2.5	3.5	2.5
4	0.34	1.2	0.5	0.91	1.3	4.28	0.84	0.84	0.58	1.17
5	4.6	4.35	3.95	6	3	4.1	2.6	2.95	2.95	2.75
6	1.75	2	1.25	1.25	1.5	2.25	2.25	1.75	1.5	...

Рис. 5. Матрица M2

Затем выполняется определение значений нечетких множеств на основе процедуры max-min-композиции (рис. 6).

```

Rmaxmin(M1, M2) :=
    K ← cols(M1) - 1
    I ← rows(M1) - 1
    J ← cols(M2) - 1
    for i ∈ 0..I
        for j ∈ 0..J
            s ← 0
            for k ∈ 0..K
                sk ← min(M1i,k, M2k,j)
            ri,j ← max(s)
    Результат композиции
    |return r
    
```

Рис. 6. Процедура max-min-композиции

Табличная расшифровка результатов композиции матриц приведена на рисунке 7 (представлены первые 6 точек водозабора из 28).

		Водозаборы						
		k-1	k-4	k-6	k-7	k-18	k-21	k-24
$R_{\max\min}(M1, M2) =$	0	7	8	7	7	7	10	7
	1	7.93	8	7.36	7.03	7.41	10	7.79
	2	7.93	8	7.36	7.03	7.41	10	7.79
	3	7.93	8	7.36	7.03	7.41	10	7.79
	4	4.6	8	4	6	5.5	10	...

Рис. 7. Результат композиции матриц

Ниже приводятся оценки качества воды при некоторых концентрациях загрязняющих веществ, приведенных в таблице 2.

Таблица 2

Заданные величины загрязнения

Загрязняющие вещества	pH	ЕС	Na	Ca+Mg	K	HCO <sub>3</sub>	Cl
Концентрации загрязняющих веществ	7	375	37,7	27	15	12,5	25

Для выбора уровней состояния пунктов водозабора могут быть использованы значения диапазонов изменения загрязняющих веществ, которые оформлены в виде логических булевых переменных. При задании конкретного значения величины загрязнения (табл. 2) автоматически определяется его принадлежность к одному из шести качественных уровней – от негативного до высокого (рис. 8-13).

$$\begin{aligned}
 & \text{pH} := 7 \\
 & \text{Уровень\_pH} := \begin{cases} 1 & \text{if } 6.5 \leq \text{pH} \leq 7.5 \\ 2 & \text{if } 7.5 \leq \text{pH} \leq 9 \\ 3 & \text{if } 9 \leq \text{pH} \leq 14 \\ 4 & \text{if } 5 \leq \text{pH} \leq 6.5 \\ 5 & \text{if } 10 \leq \text{pH} \leq 14 \\ 6 & \text{if } \text{pH} \leq 4 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\text{Уровень\_pH} = 1$$

Рис. 8. Выбор уровня загрязнения по pH

$$\begin{aligned}
 & \text{ЕС} := 375 \\
 & \text{Уровень\_ЕС} := \begin{cases} 1 & \text{if } \text{ЕС} < 250 \\ 2 & \text{if } 250 \leq \text{ЕС} \leq 750 \\ 3 & \text{if } 750 \leq \text{ЕС} \leq 1500 \\ 4 & \text{if } 1500 \leq \text{ЕС} \leq 2250 \\ 5 & \text{if } 2250 \leq \text{ЕС} \leq 3000 \\ 6 & \text{if } \text{ЕС} > 3000 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\text{Уровень\_ЕС} = 2$$

Рис. 9. Выбор уровня загрязнения по ЕС

$$\begin{aligned}
 & \text{Na} := 37.5 \\
 & \text{Уровень\_Na} := \begin{cases} 1 & \text{if } \text{Na} < 75 \\ 2 & \text{if } 100 \leq \text{Na} \leq 150 \\ 3 & \text{if } 150 \leq \text{Na} \leq 200 \\ 4 & \text{if } 200 \leq \text{Na} \leq 250 \\ 5 & \text{if } 250 \leq \text{Na} \leq 300 \\ 6 & \text{if } \text{Na} > 300 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\text{Уровень\_Na} = 1$$

Рис. 10. Выбор уровня загрязнения по Na

$$\begin{aligned}
 & \text{Ca\_Mg} := 27 \\
 & \text{Уровень\_Ca\_Mg} := \begin{cases} 1 & \text{if } \text{Ca\_Mg} < 54 \\ 2 & \text{if } 54 \leq \text{Ca\_Mg} \leq 90 \\ 3 & \text{if } 90 \leq \text{Ca\_Mg} \leq 110 \\ 4 & \text{if } 110 \leq \text{Ca\_Mg} \leq 150 \\ 5 & \text{if } 150 \leq \text{Ca\_Mg} \leq 200 \\ 6 & \text{if } \text{Ca\_Mg} > 200 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\text{Уровень\_Ca\_Mg} = 1$$

Рис. 11. Выбор уровня загрязнения по Ca\_Mg

**Интерпретация результатов.** Матрицы наибольших и наименьших уровней загрязнения водохранилищных вод содержат связь между физико-химическими количественными характеристиками и пятью качественными уровнями. Следующая матрица последовательно циклически заполняется данными о средних значениях нечетких отношений содержания загрязнений и качества воды. Далее формируется матрица нечеткого отношения водозаборов с содержанием в них загрязнений. Процедура максиминной композиции позволяет выделить связь между точками водозабора и уровнем качества воды от негативного до высокого. Результат выводится в виде матрицы. В заключение приводится оценка уровней качества воды в связи со значениями физико-химических параметров.

$$\begin{array}{l}
 K := 15 \\
 \text{Уровень}_K := \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ if } K < 15 \\ 2 \text{ if } 15 \leq K \leq 30 \\ 3 \text{ if } 30 \leq K \leq 50 \\ 4 \text{ if } 50 \leq K \leq 90 \\ 5 \text{ if } 90 \leq K \leq 100 \\ 6 \text{ if } K > 100 \end{array} \right. \\
 \text{Уровень}_K = 2
 \end{array}$$

Рис. 12. Выбор уровня загрязнения по К

$$\begin{array}{l}
 \text{HCO}_3 := 12.5 \\
 \text{Уровень}_{\text{HCO}_3} := \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ if } \text{HCO}_3 < 25 \\ 2 \text{ if } 25 \leq \text{HCO}_3 \leq 55 \\ 3 \text{ if } 55 \leq \text{HCO}_3 \leq 85 \\ 4 \text{ if } 85 \leq \text{HCO}_3 \leq 115 \\ 5 \text{ if } 115 \leq \text{HCO}_3 \leq 150 \\ 6 \text{ if } \text{HCO}_3 > 150 \end{array} \right. \\
 \text{Уровень}_{\text{HCO}_3} = 1
 \end{array}$$

Рис. 13. Выбор уровня загрязнения по HCO<sub>3</sub>

### Выводы

1. Для оценки состояния гидроузла использовался метод композиций бинарных нечетких отношений качества воды и источников. Для анализа качества показателей пунктов водозабора использовались семь типов загрязнения.

2. В процессе нечеткого анализа были составлены матрицы для определения наибольших и наименьших уровней загрязнений воды. Затем производились сравнения измеренных в пунктах водозабора величин загрязнений с величинами наибольших и наименьших критериальных значений. Вторая матрица, входящая в систему, представляет собой нечеткое отношение водозаборов и содержания загрязнений.

3. После извлечения параметров, содержащихся в матрице, производится максиминная композиция, которая дает оценку связи между точками водозаборов и пятью классами по качеству воды – от негативного до высокого.

4. Для дополнительного анализа уровней качества воды приведена система выбора показателей по отдельным видам загрязняющих веществ.

### Список литературы

1. ИСО 10304-1-92 Качество воды. Определение растворенных фторида, хлорида, нитрита, ортофосфата, бромиды, нитрита и сульфита методом ионной хроматографии. Часть 2: Метод для загрязненных вод.
2. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс. СПб.: Питер, 2003. 448 с.

3. Арзамасцев А. Д., Кузнецова Ю. А., Поздеев А. Г. Моделирование эффективности освоения водных ресурсов на основе производственных функций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2013. № 1. С. 66-79.

4. Фрог Б. Н. Водоподготовка. М.: МГУ, 2001. 680 с.

5. Гуцин А. В. Теория и алгоритмы: нечеткие арифметика, кластеризация, синтез знаний и принятие решений в условиях лингвистической неопределенности. Самара: Самарский гос. ун-т путей сообщения, 2012. 96 с.

#### APPLICATION OF FUZZY-SET THEORY TO ASSESS THE CONDITION OF WATER INTAKE POINTS IN RESERVOIRS

*Pozdeev Anatoliy Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolievna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Based on the method of compositions of binary fuzzy relations, we established connections between water quality and water intake points. During the analysis, we obtained matrices that determine the highest and lowest levels of water pollution. As a result, the water quality levels divided into five classes are linked with criteria for the water sources selection according to certain types of pollutants.*

**Keywords:** *composition, fuzzy sets, matrices of pollution levels, water intake, water quality.*

УДК 551.58

#### СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СНЕГОВОГО ПОКРОВА В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

*Соловьёв Николай Павлович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
SolovevNP@volgatech.net

*Представлены результаты статистического анализа высоты снежного покрова в Республике Марий Эл. В основу статистического анализа положены данные Росгидромета. Установлены закономерности изменения высоты снежного покрова, плотность вероятности и функция распределения. Результаты исследования позволяют установить расчетное значение снеговой нагрузки для Республики Марий Эл.*

**Ключевые слова:** *снег, высота снежного покрова, статистические исследования.*

**Введение.** Снеговая нагрузка – одна из основных временных нагрузок, значением которой нельзя пренебрегать в алгоритме проектирования и обеспечения безаварийной эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений. Значение снеговой нагрузки определяется в зависимости от района строительства по принятому в 2016 году СП 20.13330.2016 [1], который является актуализированной редакцией СНиП 2.01.07-85\*.

Пункт 10.1 СП [1] уточняет, что «нормативные значения веса снежного покрова допускается уточнять в установленном порядке на основе данных Росгидромета для

места строительства», т.е. СП предупреждает, что предложенные значения снеговой нагрузки в СП могут существенно отличаться от значения снеговой нагрузки, полученной на основании местных гидрометеорологических данных.

Последнее замечание в неявном виде фактически предлагает субъектам Российской Федерации провести более детальное районирование своих территорий по снеговым нагрузкам для обеспечения надежности строительных конструкций зданий и сооружений. Так, п. 4.4 [1] допускает назначение значения снеговой нагрузки «на основе анализа соответствующих климатических данных для места строительства». В 2017 г. вышел и принят к действию ГОСТ Р ИСО 4355-2016 «Основы проектирования строительных конструкций. Определение снеговых нагрузок на покрытия» [2], который, по мнению разработчиков, может служить основой для разработки национальных стандартов по определению снеговых нагрузок.

**Цель работы.** Нормативные документы [1, 2] рекомендуют значение веса снегового покрова определять по запасу воды в снеге, который определяется по данным декадных маршрутных снегосъемок на защищенных от прямого воздействия ветра участков местности (в лесу или на лесных полянах). Однако на многих метеостанциях в первую очередь регистрируется высота снегового покрова, а не плотности или запас воды в снеге. Поэтому необходимо разработать дополнительные рекомендации по определению значения снеговой нагрузки по высоте снежного покрова с учетом статистических закономерностей её изменения.

Для определения статистических характеристик высоты снежного покрова в Республике Марий Эл решаются следующие задачи: 1) установить статистические закономерности образования и схода устойчивого снежного покрова; 2) установить зависимость средней высоты снежного покрова от периода залегания снега, связь между средней и максимальной высотами снежного покрова; 3) определить закон распределения высоты снежного покрова.

**Материал и методика исследования.** В основу определения статистических закономерностей изменения высоты снежного покрова положены данные метеостанции № 24485 (г. Йошкар-Ола) Росгидромета (<http://aisori-m.meteo.ru/waisori/registration.xhtml>). Исходные данные охватывают период с 1949 по 2017 г. Обработка статистической информации, установление законов изменения высоты снежного покрова выполнены с использованием основных положений математической статистики и теории вероятности.

**Результаты и их анализ.** Время залегания снежного покрова делится на три периода: предзимье – период образования неустойчивого снежного покрова; зима – период устойчивого снежного покрова, когда снег лежит непрерывно в течение всей зимы; весна – период таяния снежного покрова. На рисунке 1 показана гистограмма образования и схода устойчивого снежного покрова в г. Йошкар-Оле. Постоянный снежный покров в исследуемом районе формируется в основном в ноябре ( $\approx 71\%$  от общего числа исходов), основной сход устойчивого снега – в апреле ( $\approx 84\%$ ).

Средняя продолжительность залегания постоянного снежного покрова за период с 1949 по 2017 г. составляет 145 дней. Минимальное значение – 94 дня – зафиксировано

в зиму 1982-83, максимальное значение – 178 дней – отмечено в 1978-79 г. Средняя продолжительность залегания постоянного снежного покрова в XXI столетии составляет 136 дней. Минимальное значение – 103 дня (зима 2006-07 г.), максимальное – 163 дня (зима 2016-17 г.). Наблюдается снижение периода залегания постоянного снежного покрова.

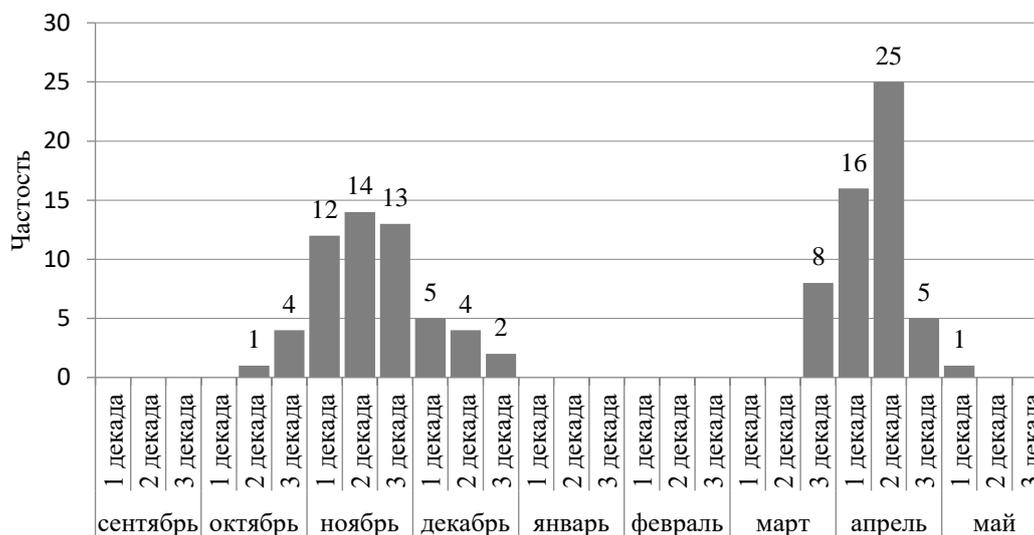


Рис. 1. Гистограмма образования и схода устойчивого снежного покрова

С момента образования устойчивого снежного покрова высота его постепенно увеличивается. По средним многолетним оценкам, наиболее интенсивный рост высоты снежного покрова наблюдается от декабря к февралю. Так, за весь период наблюдения средняя высота снежного покрова в ноябре составила 6,4 см; в декабре – 14,5 см; в январе – 27,4 см; в феврале – 37,3 см; в марте – 38,0 см. Изменение средней высоты устойчивого снежного покрова подчиняется логарифмической зависимости (рис. 2). Коэффициент корреляции равен 0,976.

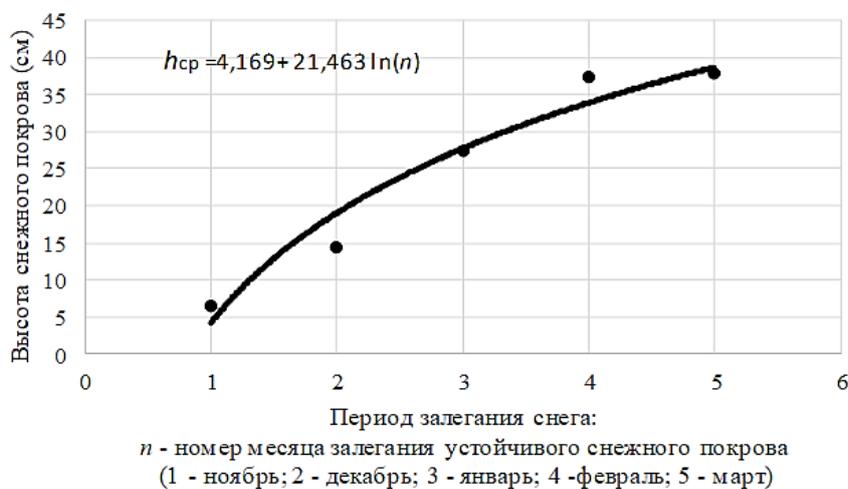


Рис. 2. Зависимость высоты снежного покрова в период устойчивого снега

Максимальные значения высот снежного покрова за весь период наблюдения показаны на рисунке 3. Максимальная высота снежного покрова в прошлом столетии составила 79 см (29 марта 1952 г.), в XXI столетии – 90 см (26 марта 2011 г.). Наблюдается положительный тренд изменения максимальной высоты снежного покрова, который составляет примерно 0,12 см в год.

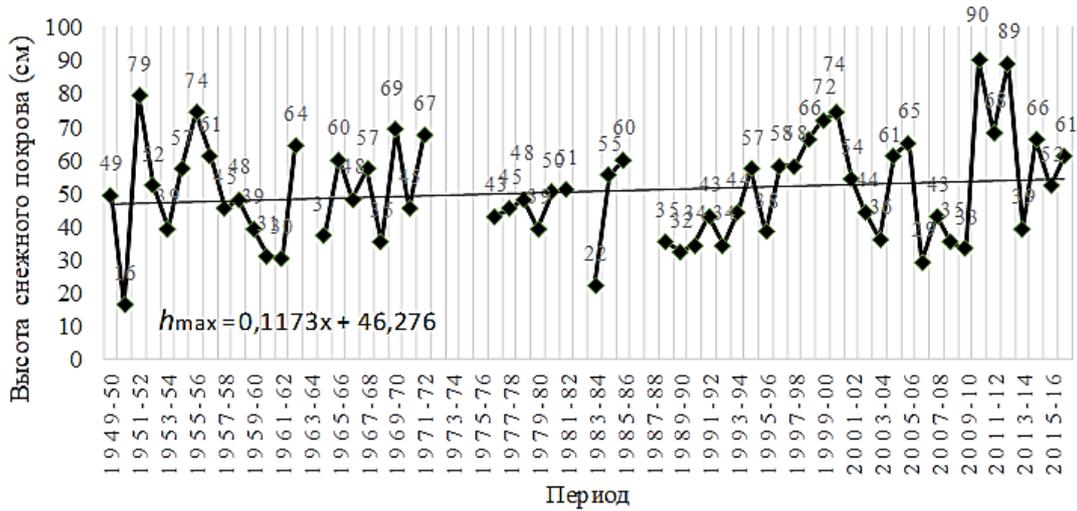


Рис. 3. График годовых максимальных высот снежного покрова

Установлена зависимость между средней и максимальной высотой снежного покрова в марте, которая оказалась линейной (рис. 4). Коэффициент детерминации равен 0,88, что характеризует высокую связь между исследуемыми параметрами.

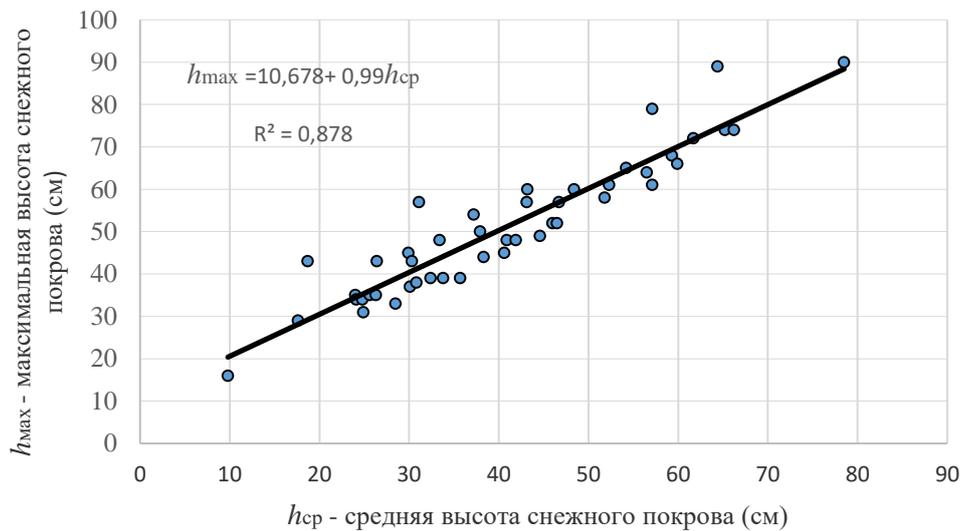


Рис. 4. Зависимость между средней и максимальной высотами снежного покрова в марте

Общие положения расчета снеговой нагрузки предусматривают использование для аппроксимации данных метеонаблюдений статистических законов распределения. Для

большинства метеорологических станций России наилучшее согласие с фактическими данными о ежегодных максимумах величины снеговой нагрузки дает их аппроксимация распределением Гумбеля, которое предназначено для описания экстремальных значений физических величин [3]. Плотность и функция распределения Гумбеля записывается в виде

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left[ \frac{\alpha - x}{\beta} - \exp \left( \frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right], \quad F(x) = \exp \left[ - \exp \left( \frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right].$$

После соответствующей обработки данных метеостанции № 24485 (г. Йошкар-Ола) получены следующие значения коэффициентов плотности вероятности и функции распределения Гумбеля:  $\alpha = 34,47$ ;  $\beta = 13,39$ .

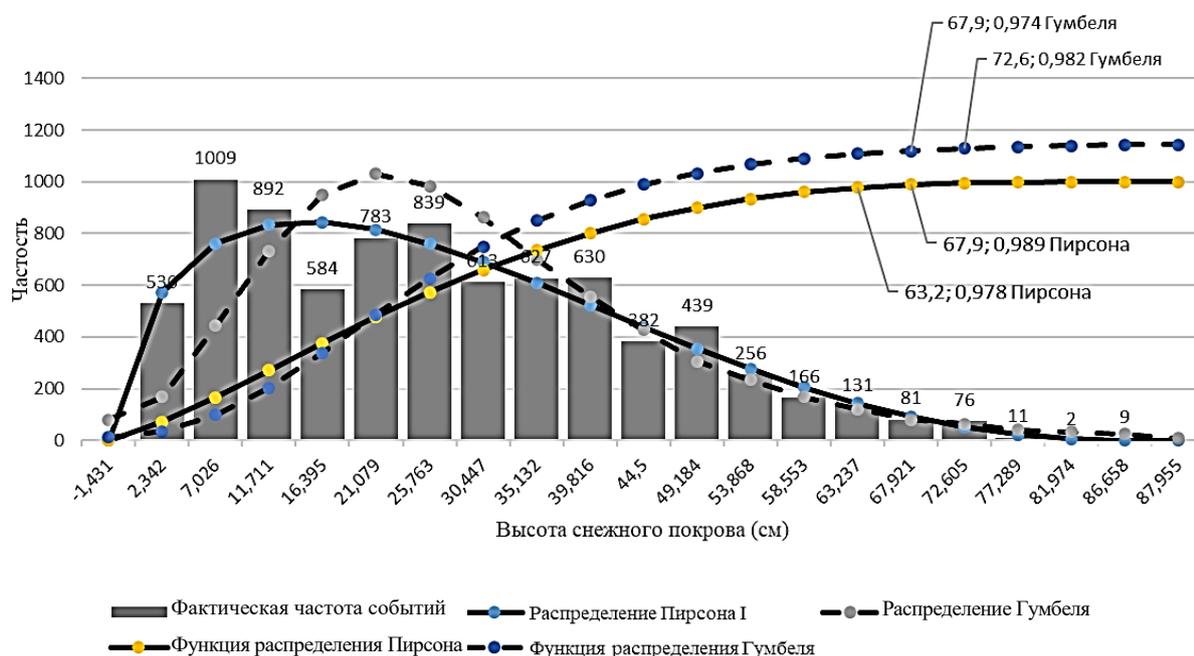


Рис. 5. Гистограмма высоты снежного покрова, плотности вероятности и функции распределения Гумбеля и Пирсона

Как было отмечено, распределение Гумбеля оценивает ежегодные максимумы величины снеговой нагрузки. В нашем случае используется общая выборка случайных значений высоты снежного покрова. Поэтому для получения более достоверной информации при определении закона распределения высоты снежного покрова дополнительно воспользуемся кривыми Пирсона.

При рассмотрении семейства кривых Пирсона установлено, что плотность вероятности высоты снежного покрова аппроксимируется кривой распределения типа I. Уравнение кривой с последующей подстановкой значений коэффициентов имеет вид

$$f(x) = \tilde{n}_0 \left( 1 + \frac{x}{l_1} \right)^{q_1} \left( 1 - \frac{x}{l_2} \right)^{q_2} = 846,04 \left( 1 + \frac{x}{3,50} \right)^{0,52} \left( 1 - \frac{x}{15,58} \right)^{2,29}.$$

На рисунке 5 представлена гистограмма частот фактических значений высот снежного покрова, плотности вероятности и функции распределения Гумбеля и Пирсона (коэффициент корреляции: распределение Гумбеля – 0,838; распределение Пирсона – 0,962). Расчетное значение высоты снежного покрова с вероятностью превышения 0,02: распределение Гумбеля – 69,6 см; распределение Пирсона – 64,1 см.

#### **Выводы**

1. Выполнены статистические исследования изменчивости высоты снежного покрова по данным метеостанции № 24485 (г. Йошкар-Ола) Росгидромета за период с 1949 по 2017 г.

2. Установлены закономерность образования и схода устойчивого снежного покрова, зависимость средней высоты снежного покрова от периода залегания снега, зависимость средней и максимальной высот снежного покрова.

3. Установлено, что наилучшим законом распределения высоты снежного покрова для метеостанции № 24485 является распределение Пирсона типа I.

#### *Список литературы*

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова». М.: Минрегион России, 2016. 80 с.

2. ГОСТ Р ИСО 4355-2016. Основы проектирования строительных конструкций. Определение снеговых нагрузок на покрытия / АО «НИЦ «Строительство», ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М.: Стандартинформ, 2017. 39 с.

3. Петерс А.А., Медвинский Г.А. Методика расчета снеговых нагрузок в связи с актуализацией и гармонизацией с Еврокодами нормативных документов РФ // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова. СПб., 2013. Вып. 560. С. 159-171.

### **THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE SNOW COVER IN THE REPUBLIC OF MARI EL**

*Solovev Nikolai Pavlovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The results of statistical analysis of snow cover height in the Republic of Mari El are presented. The statistical analysis is based on the data of Roshydromet. Regularities of snow cover height change, probability density and distribution function are established. The results of the study will allow to establish the calculated value of the snow load for the Republic of Mari El.*

**Keywords:** *snow, snow depth, statistical studies.*

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 519.63

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ОКСИДА АЗОТА $NO$ С УЧАСТИЕМ РАДИКАЛОВ $NH$ , $NH_2$ , $OH$

*Иванов Владимир Викторович, Кузьмина Ольга Валериановна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола  
KuzminaOV@volgatech.net

*Предложены кинетическая схема и математическая модель образования оксидов азота  $NO$  с участием радикалов  $NH$ ,  $NH_2$ ,  $OH$ . В основу положены термический механизм Я. Б. Зельдовича и реакции кинетики селективного некаталитического восстановления  $NO$ .*

**Ключевые слова:** *математическое моделирование, химическая кинетика, селективное некаталитическое восстановление оксидов азота.*

**Введение.** При высоких температурах горения топлив в воздухе из молекулярного азота образуются оксиды азота  $NO$ ,  $NO_2$ . Их смесь принято обозначать как  $NO_x$ . Оксиды азота  $NO_x$  являются одними из наиболее токсичных продуктов сгорания. Снижение уровня выбросов  $NO_x$  является актуальной задачей.

В настоящее время известно несколько кинетических механизмов образования  $NO$ . Различие их обусловлено компонентами горючего и окислителя, применяемыми при создании топлива, а также кинетическими схемами химических реакций, являющихся наиболее вероятными элементарными стадиями химического процесса. Так, например, термический механизм Я. Б. Зельдовича [1] реализуется по схеме двух реакций, в которых участвуют молекулы и атомы кислорода и азота воздуха. Но известны кинетические схемы, размерность которых описывается десятками и более числом реакций и большим числом участвующих в данных реакциях компонентов [2, 3]. По мнению авторов [4, 5], выбор схемы, включающей максимальное число элементарных реакций, приводит к усложнению анализа получаемых результатов. С другой стороны, упрощенные механизмы реакций не позволяют учесть отдельные компоненты и реакции, которые могут быть важными в тех или иных расчетных условиях (температурах, соотношениях концентраций компонентов и пр.).

Проблема выбора той или иной альтернативной кинетической схемы требует дальнейшего изучения и является актуальной.

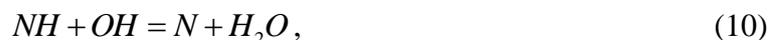
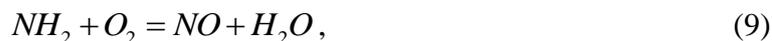
В данной работе рассматриваются кинетические схемы реакций образования  $NO$  в системе атомов  $N, H, O$ , в которой реализуется термический механизм Я. Б. Зельдовича. При этом общепризнано (см., например, [6] и др.), что именно данный механизм вносит основной вклад в образование  $NO$ .

Проблема образования и удаления оксидов  $NO$  из продуктов сгорания является центральной во многих отечественных и зарубежных исследованиях. Материалы обзоров литературы по данной теме [4, 7, 8] показывают, что в кинетике химических реакций образования  $NO$  с участием атомов  $N, H, O$  могут быть выделены следующие важные кинетические схемы химических реакций. Наиболее изученной является схема реакций молекулы азота воздуха с атомарным кислородом. Версию такого механизма, высказанную академиком Н. Н. Семеновым, исследовали авторы работы [1], где была экспериментально подтверждена возможность протекания данных реакций. Схема получила название термического механизма. В другом возможном варианте, впервые предложенном в работе [1, с. 96], реакции образования  $NO$  протекают с участием радикалов  $OH$  и  $NH$ . Здесь же была высказана гипотеза о возможности комбинированной реализации данных схем реакций. Кинетическая схема реакции образования  $NO$  по термическому механизму с участием паров воды была поддержана в работах [6, 9] и других. Экспериментально установлено, что добавка воды в топливо снижает уровень концентрации атомарного кислорода, что повышает концентрацию гидроксильных радикалов  $OH$  и снижает уровень выхода оксидов  $NO$ .

В исследованиях кинетики химических реакций в системе атомов  $O, N, H$  важную роль занимает метод селективного некаталитического восстановления  $NO$ . Метод основан на реакциях взаимодействия компонентов разложения аммиака – радикалов  $NH$ ,  $NH_2$  с оксидами  $NO$  [4, 7, 8].

Обзор литературы позволяет выделить следующую замкнутую систему реакций образования  $NO$ , включающую участие атомов  $O, N, H$ , молекул  $N_2, O_2, H_2, NH_3$ , радикалов  $OH, NH, NH_2$





Данный механизм является одним из возможных, вероятных механизмов химического взаимодействия в системе атомов  $N$ ,  $H$ ,  $O$ . В него входят наиболее важные, по мнению авторов [1, 4, 7, 8], элементарные стадии химического процесса образования и удаления  $NO$ .

Проблемы математического моделирования процессов горения и образования оксидов азота рассматриваются в работах [2, 3] и других применительно к различным теплоэнергетическим установкам. Обсуждаются взаимосвязи процессов горения и образования продуктов сгорания, кинетические схемы образования  $NO$ , значения констант отдельных реакций, условия проведения эксперимента, конструктивные меры снижения вредных выбросов и пр. Общим в данных работах является представление изучаемых процессов как изотермической, пространственно однородной модели среды, параметры которой определяются путем расчета некоторого равновесного состава компонентов среды для заданных диапазонов температур.

Однако данные процессы являются нестационарными газодинамическими процессами тепломассопереноса, распределенными по длине камеры, протекающими с переменными температурой, составом смеси, в условиях конвективного переноса частиц среды.

Механизм образования и удаления  $NO$  в сочетании с вопросами исследования динамики образования вредных веществ в потоке горячей топливной смеси не получили в литературе достаточного развития и обсуждения и являются актуальными.

**Цель работы:** на основе термического механизма Я. Б. Зельдовича разработать математическую модель нестационарного распределенного процесса горения потока топливно-воздушной смеси и образования оксида азота с участием радикалов  $OH$ ,  $NH$ ,  $NH_2$ ; исследовать влияние данных радикалов на уровень образования  $NO$ .

**Математическая модель процесса горения и реакций химической кинетики образования  $NO$ .** Рассматривается задача моделирования процессов горения с химическими реакциями образования и удаления оксида азота  $NO$  с участием радикалов  $OH$ ,  $NH$ ,  $NH_2$ .

Вводятся следующие допущения:

1) процессы горения, образования и распада компонентов реакций (1)-(11) рассматриваются как нестационарные процессы, распределенные во времени и вдоль оси камеры;

2) известно, что реакции образования  $NO$  идут медленнее процессов горения. Это позволяет моделировать процессы химической кинетики при заданном распределении

температуры вдоль оси камеры (заданном положении зоны прогрева, фронта пламени, охлаждения продуктов сгорания);

3) реакции (6)-(9), (11) моделируются как реакции расхода, идущие только в прямом направлении [4, с. 349, 362; 7, с. 299, 300].

По уравнениям реакций системы (1)-(11) составлены дифференциальные уравнения, описывающие кинетику образования и удаления оксида азота  $NO$ :

$$\frac{\partial C_O}{\partial t} + u \frac{\partial C_O}{\partial x} = \bar{k}_1 C_{NO} C_N + \bar{k}_5 C_{OH} C_{OH} + \bar{k}_{10} C_{NO} C_H + \\ + k_2 C_N C_{O_2} - \bar{k}_1 C_{N_2} C_O - \bar{k}_2 C_{NO} C_O - k_5 C_O C_{H_2O} - k_{10} C_{NH} C_O - k_{11} C_{NH} C_O,$$

$$\frac{\partial C_N}{\partial t} + u \frac{\partial C_N}{\partial x} = k_1 C_{N_2} C_O + \bar{k}_2 C_{NO} C_O + k_9 C_{NH} C_{OH} - \bar{k}_1 C_{NO} C_N - k_2 C_N C_{O_2},$$

$$\frac{\partial C_H}{\partial t} + u \frac{\partial C_H}{\partial x} = k_{10} C_{NH} C_O - \bar{k}_{10} C_{NO} C_H,$$

$$\frac{\partial C_{N_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{N_2}}{\partial x} = \bar{k}_1 C_{NO} C_N + \bar{k}_3 C_{NO} C_{NH} + k_7 C_{NH_2} C_{NO} - k_1 C_{N_2} C_O - k_3 C_{OH} C_{N_2},$$

$$\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{O_2}}{\partial x} = \bar{k}_2 C_{NO} C_O + \bar{k}_4 C_{NO} C_{OH} - k_2 C_N C_{O_2} - k_4 C_{NH} C_{O_2} - k_8 C_{NH_2} C_{O_2},$$

$$\frac{\partial C_{H_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{H_2}}{\partial x} = k_{11} C_{NH_2} C_O,$$

$$\frac{\partial C_{NH_3}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NH_3}}{\partial x} = -k_6 C_{NH_3} C_{OH},$$

$$\frac{\partial C_{NH_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NH_2}}{\partial x} = k_6 C_{NH_3} C_{OH} - k_7 C_{NH_2} C_{NO} - k_8 C_{NH_2} C_{O_2} - k_{11} C_{NH_2} C_O,$$

$$\frac{\partial C_{NH}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NH}}{\partial x} = k_3 C_{N_2} C_{OH} + \bar{k}_4 C_{NO} C_{OH} + \bar{k}_{10} C_{NO} C_H - \bar{k}_3 C_{NO} C_{NH} - \\ - k_4 C_{NH} C_{O_2} - k_9 C_{NH} C_{OH} - k_{10} C_{NH} C_O,$$

$$\frac{\partial C_{OH}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{OH}}{\partial x} = \bar{k}_3 C_{NO} C_{NH} + k_4 C_{NH} C_{O_2} + 2k_5 C_{H_2O} C_O - k_3 C_{OH} C_{N_2} - \\ - \bar{k}_4 C_{NO} C_{OH} - 2\bar{k}_5 C_{OH} C_{OH} - k_6 C_{NH_3} C_{OH} - k_9 C_{NH} C_{OH},$$

$$\frac{\partial C_{H_2O}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{H_2O}}{\partial x} = 2\bar{k}_5 C_{OH} C_{OH} + k_6 C_{NH_3} C_{OH} + k_7 C_{NH_2} C_{NO} + k_8 C_{NH_2} C_{O_2} + k_9 C_{NH} C_{OH} - k_5 C_O C_{H_2O},$$

$$\frac{\partial C_{NO}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NO}}{\partial x} = k_1 C_{N_2} C_O + k_2 C_N C_{O_2} + k_3 C_{N_2} C_{OH} + k_4 C_{NH} C_{O_2} + k_8 C_{NH_2} C_{O_2} + k_{10} C_{NH} C_O + k_{11} C_{NH_2} C_O - \bar{k}_1 C_{NO} C_N - \bar{k}_2 C_{NO} C_O - \bar{k}_3 C_{NO} C_{NH} - \bar{k}_4 C_{NO} C_{OH} - k_7 C_{NH_2} C_{NO} - \bar{k}_{10} C_{NO} C_H.$$

Данная система уравнений описывает изменение переменных  $C_O(x,t)$ ,  $C_N(x,t)$ ,  $C_H(x,t)$ ,  $C_{N_2}(x,t)$ ,  $C_{O_2}(x,t)$ ,  $C_{H_2}(x,t)$ ,  $C_{NH_3}(x,t)$ ,  $C_{NH_2}(x,t)$ ,  $C_{NH}(x,t)$ ,  $C_{OH}(x,t)$ ,  $C_{H_2O}(x,t)$ ,  $C_{NO}(x,t)$ . Уравнения процесса горения топливной смеси и изменение температуры  $T(x,t)$  вдоль оси камеры даны в работе [10].

**Численное моделирование.** Результаты численных расчетов по уравнениям системы (1)-(11) представлены на рисунках 1, 2. Расчеты проводились для кинетической схемы термического механизма с участием радикалов  $OH$ ,  $NH$  (уравнения кинетической схемы (3)-(6)).

На рисунке 1 даны графики изменения переменных  $C_O(x,t)$ ,  $C_{N_2}(x,t)$ ,  $C_{NH}(x,t)$ ,  $C_{OH}(x,t)$ ,  $C_{NO}(x,t)$ ,  $T(x,t)$  при скорости потока  $u = 100$ , коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1.05$  и времени процесса образования  $NO$ , равного  $\tau = 0.00045$  с. Фронт пламени находится в диапазоне узлов сетки [50-60], максимальное значение  $C_{NO} = 0.0249436$ .

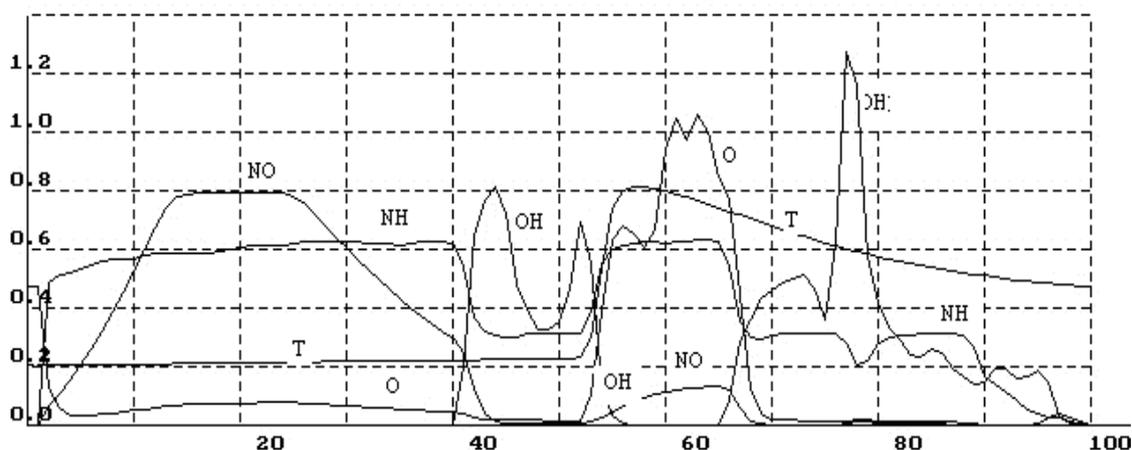


Рис. 1. Изменение концентраций  $C_O(x,t)$ ,  $C_{NH}(x,t)$ ,  $C_{OH}(x,t)$ ,  $C_{NO}(x,t)$  и  $T(x,t)$

Из рисунка 2 видно, что при уменьшении скорости потока  $u$  до значения  $u = 60$  и для момента времени  $\tau = 0.00030$  с фронт пламени смещается в начало камеры и находится в диапазоне узлов сетки [35-45]. Максимальное значение  $C_{NO} = 0.0158025$ .

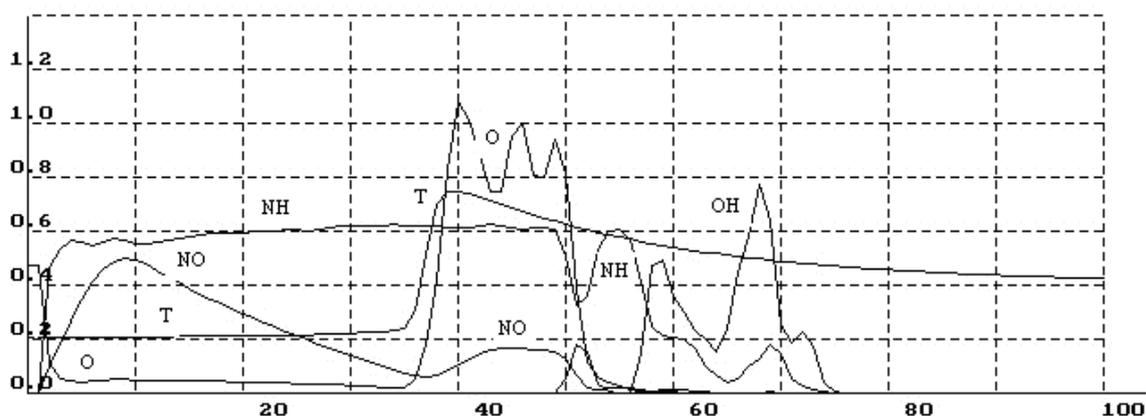


Рис. 2. Изменение концентраций  $C_O(x, t)$ ,  $C_{NH}(x, t)$ ,  $C_{OH}(x, t)$ ,  $C_{NO}(x, t)$  и  $T(x, t)$

### Выводы

1. Реализация предложенного кинетического механизма реакций (1)-(11) позволяет объединить в одной математической модели все упомянутые выше известные механизмы образования и удаления  $NO$ .

2. Предложенный механизм является замкнутым, позволяющим моделировать как отдельные кинетические схемы (например, реакции (1)-(3) – механизм с участием атомарного кислорода  $O$ ; реакции (3)-(6) с участием радикалов  $OH$ ,  $NH$ ; реакции (1)-(6) – комбинированный механизм; реакции (1)-(11)), так и всю систему в целом, проанализировать взаимосвязи данных схем, исследовать влияние радикалов  $OH$ ,  $NH$ ,  $NH_2$  на уровень образования  $NO$ .

### Список литературы

1. Зельдович Я. Б., Садовников П. Я., Франк-Каменецкий Д. А. Окисление азота при горении. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 147 с.
2. Осджерби, (Osgerby I. T.) Обзор литературы по моделированию геометрических размеров и процессов в камерах сгорания газотурбинных двигателей // Ракетная техника и космонавтика. 1974. Т. 12, № 6. С. 9-23.
3. Бочков М. В., Ловачев Л. А., Четвертушкин Б. Н. Химическая кинетика образования  $NO_x$  при горении метана в воздухе // Математическое моделирование. 1992. Т. 4, № 9. С. 3-36.
4. Химия горения: пер. с англ. / У. Гардинер мл., Г. Диксон-Льюис, Р. Цельнер, Ю. Трое, Ю. Варнатц, Р. Хэнсон, С. Салимьян, М. Френклах, А. Буркат; под ред. У. Гардинера мл. М.: Мир, 1988. 464 с.
5. Оран Э., Борис Дж. Численное моделирование реагирующих потоков: пер. с англ. / под ред. В. Л. Зимонта и П. И. Чушкина. М.: Мир, 1990. 660 с.
6. Новые технологии сжигания природного газа для экологически чистой энергетики / А. А. Иванов, А. Н. Ермаков, И. К. Ларин, Р. А. Шляхов // Известия Российской академии наук, Энергетика. 2007. № 5. С. 115-124.
7. Варнатц Ю., Маас У., Р Диббл. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / пер. с англ. Г. Л. Агафонова; под ред. П. А. Власова. М.: Физматлит, 2003. 352 с.

8. Горение и течение в агрегатах энергоустановок: моделирование, энергетика, экология / В. Г. Крюков, В. И. Наумов, А. В. Демин, А. Л. Абдуллин, Т. В. Тринос. М.: Янус-К, 1997. 304 с.

9. Гарипов М. Д., Гиниятов А. А., Сакулин Р. Ю. Влияние воды на кинетику окисления метановоздушных смесей в условиях поршневых ДВС с унифицированным рабочим процессом // Вестник УГАТУ. Уфа, 2008. Т. 11, № 2 (29). С. 74-84.

10. Сиразетдинов Т. К., Иванов В. В. Моделирование, синтез и устойчивость процессов в камере сгорания газотурбинных двигателей и энергетических установок: научное издание. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. 243 с.

#### MODELING OF THE FORMATION AND DISAPPEARANCE NITRIC OXIDE NO WITH THE PARTICIPATION OF RADICALS NH, NH<sub>2</sub>, OH

*Ivanov Vladimir Viktorovich, Kuzmina Olga Valerianovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*A kinetic scheme and a mathematical model of the formation of nitrogen oxides NO with the participation of radicals NH, NH<sub>2</sub>, OH are proposed. The basis is the thermal mechanism of Y. B. Zeldovich and the reaction of the kinetics of selective non-catalytic reduction NO.*

**Keywords:** *mathematical modeling, chemical kinetics, selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides.*

УДК 627.882 + 532.522

#### МЕРОПРИЯТИЯ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ РЫБНЫХ ЗАПАСОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ОСВОЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

*Введенский Олег Германович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
VvedenskyOG@volgatech.net

*Рассмотрены возможные подходы проведения мероприятий, направленных на восстановление рыбных запасов в условиях интенсивного освоения водохранилищ. Представлены варианты новых технических решений по восстановлению естественного воспроизводства рыб и их математическое обоснование. Приведены результаты экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** *гидроузел, водохранилище, нерестовая миграция рыбы, покотная миграция рыбы, естественное воспроизводство рыбы*

**Введение.** Гидротехническое строительство, направленное на создание водохранилищ, ведет к изменению стока реки, зависящего от времени года и суток. Кроме того, возводимые для этих целей плотины разрушают целостность анадромных миграций проходных и полупроходных видов рыб [1]. Нерестовые миграции против течения приостанавливаются плотинами, что ведет к прекращению естественного воспроизводства, а покотные миграции заканчиваются гибелью рыб в турбинах ГЭС и в водохранилище. При зарегулировании стока в условиях каскада водохранилищ на участке «река – водохранилище – река» трижды происходит резкое изменение видового и количественного

состава покатной молоди рыб. Так, в зоне выклинивания подпора уровня водохранилища происходит гибель реофилов; в самом водохранилище увеличивается число лимнофилов. Также происходит массовый вынос пелагических рыб через плотину и их гибель при скате через турбины ГЭС из-за баротравм при перепаде гидростатического давления [2].

С другой стороны, гидротехническое строительство направлено на решение целого ряда важнейших для человечества задач, без решения которых невозможно дальнейшее устойчивое развитие человеческого общества. Это получение энергии, создание больших запасов пресной воды для питьевого и хозяйственного водопотребления, обеспечение водного транспорта полноводными магистральями, получение обширных угодий для развития рекреации и др. [1, 2].

**Цель работы** – обоснование предупредительных мер по снижению негативного влияния гидротехнического строительства экологии рыб.

**Решаемая задача** – разработка комплекса технологий и сооружений, направленных на сохранение условий естественного воспроизводства водных биологических ресурсов на всех стадиях их жизненного цикла при эксплуатации плотин.

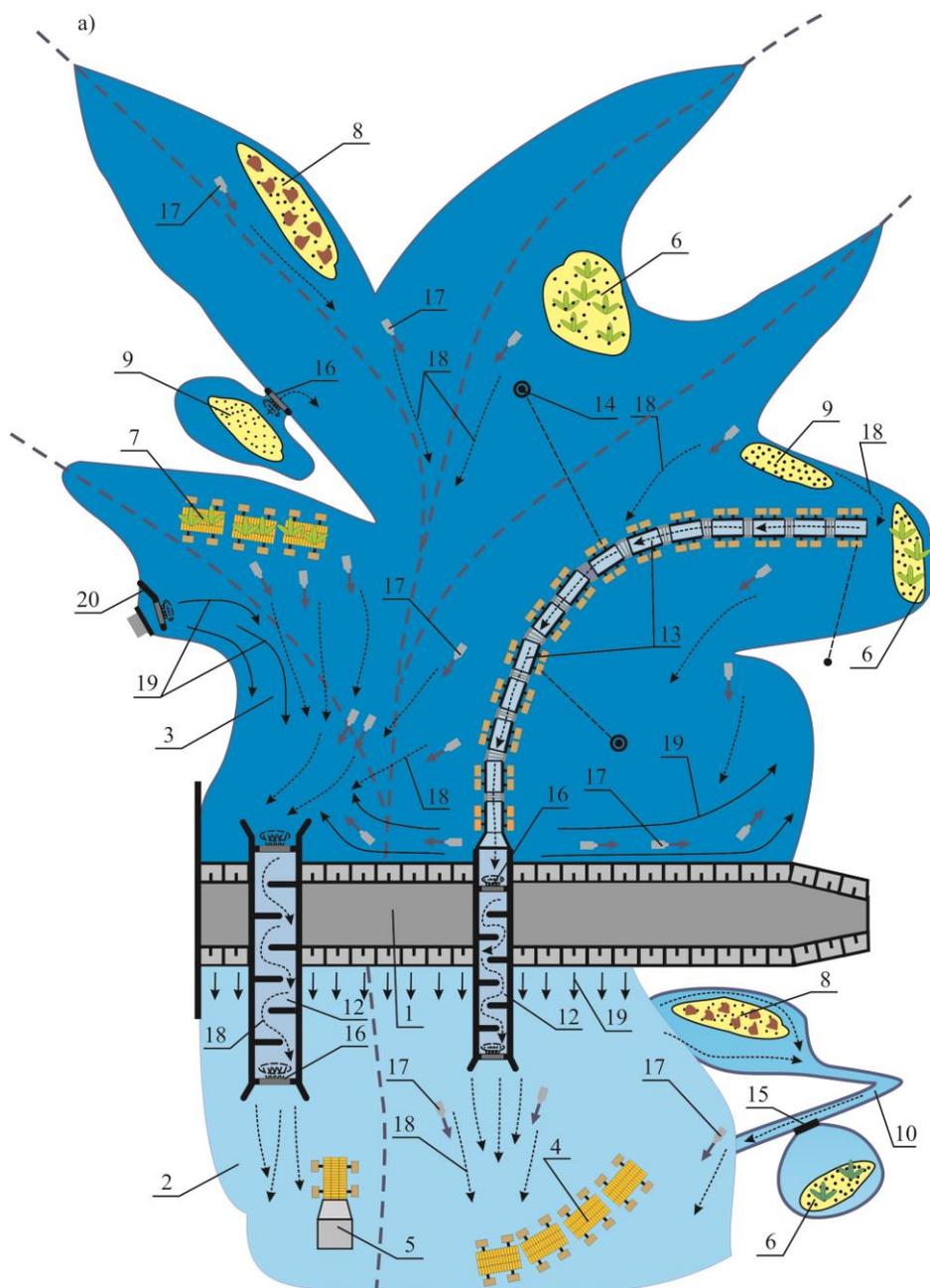
**Объект разработки и исследования.** Обоснуем мероприятия, направленные на восстановление рыбных запасов в условиях интенсивного освоения водохранилищ (рис. 1) [1, 2].

Как уже выше отмечалось, анадромная или нерестовая миграция рыб в зарегулированных реках прекращается под первыми плотинами в каскаде гидроузлов. Величина наносимого ущерба будет зависеть от доли нерестилищ, утраченных вследствие гидротехнического строительства. При этом зарегулирование стока в нижних участках рек имеет особенно негативные последствия, угрожая исчезновением или резким сокращением отдельных популяций и видов (проходных или полупроходных) рыб. В этом случае существующие нерестовые площади необходимо дополнить системой искусственных нерестилищ, позволяющих обеспечить нерест всего видового состава производителей рыб [1, 3].

По характеру используемого в нерестилищах субстрата для кладки икры рыбы делятся на группы фитофилов, откладывающих икру на растительность, псаммофилов – на песок, литофилов – на камни, пелагофилов – в толще воды [1, 2]. Для изготовления субстрата для искусственных нерестилищ применяются различные материалы: растительность (хвойные ветви, сухая трава, водоросли и др.), синтетические материалы, сетное полотно, галька, гравий, керамзит.

Помимо нерестовых полей для обеспечения нереста рыб в нижнем бьефе гидроузла могут быть использованы нерестовые каналы и искусственные рыбоводные предприятия [3]. Нерестовые каналы, как правило, представляют собой искусственный водопроводящий тракт (рис. 1, а), имитирующий рельеф речного русла: плесы и перекаты; поймы и русла. На участках канала с определенными гидравлическими условиями

укладывают соответствующие виды субстрата для кладки икры. Конечным результатом всех перечисленных выше мероприятий должно стать получение полноценной жизнеспособной молоди как в естественных условиях, так и на рыбоводных заводах.



**Рис. 1. Схема рыбоохранного комплекса гидроузла:** а – без покатной миграции рыб; б – с покатной миграцией рыб; 1 – плотина; 2 – нижний бьеф гидроузла; 3 – верхний бьеф гидроузла; 4 – плавучие нерестовые поля; 5 – рыбоуловитель рыбного хозяйства; 6 – прибрежное нерестилище для фитофильных видов рыб; 7 – плавучее нерестилище для фитофильных видов рыб; 8 – нерестилище для литофильных видов рыб; 9 – нерестилище для псаммофильных видов рыб; 10 – нерестовый канал; 11 – рыбоходно-нерестовый канал; 12 – рыбоходное сооружение; 13 – верховой лоток рыбоходного сооружения; 14 – плавучее удерживающее устройство; 15 – шлюз-регулятор; 16 – регулятор расхода на основе технологии использования гидравлических струй; 17 – гидравлические ускорители; 18 – привлекающий (проводящий) рыбу поток воды; 19 – рыбоотводящий поток воды; 20 – рыбозащита на водозабор

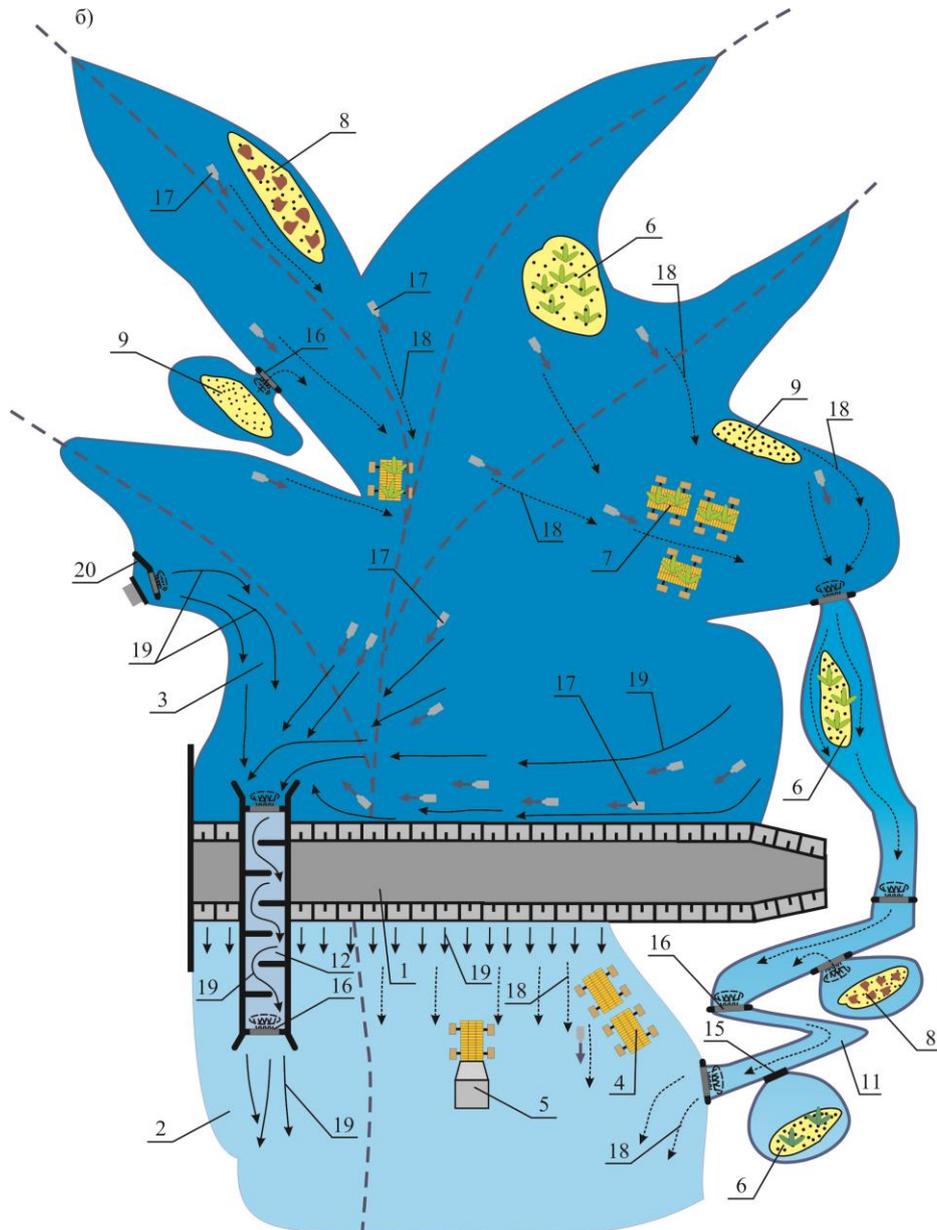


Рис. 1. Схема рыбоохранных комплексов гидроузла (окончание)

Поддержание естественного воспроизводства на зарегулированных реках требует не только восстановления нерестилищ, но и решения еще одной очень важной и сложной проблемы – перекрытие плотинами миграционных путей рыб. Адаптивное значение таких миграций заключается в том, что они способствуют устойчивому поддержанию границ ареала обитания и использованию его трофической части. Нерестовые миграции хорошо выражены у проходных рыб, которые кормятся в море, но для размножения входят в реки. Они свойственны главным образом рыбам Северного полушария: сельдевым, лососёвым, осетровым и др. [4]. Кроме того, миграции необходимы и для туводных (жилых) видов рыб для поддержания целостности популяции. С целью восстановления миграционных путей рыб на зарегулированных реках в составе гидроузлов необходимо устраивать рыбопропускные сооружения.

Существующие в настоящее время рыбопропускные сооружения делят на рыбоходы и рыбоподъемники [5]. В рыбоходах рыбы перемещаются благодаря их активному движению на всём протяжении рыбопропускного устройства, а в рыбоподъемниках – за счёт работы самого сооружения, где рыбы не затрачивают собственной энергии на преодоление водного напора.

Рыбоподъемники обладают рядом существенных недостатков: цикличностью действия; несоответствием биологическим особенностям рыб; наличием движущихся элементов; отличием условий выпуска рыб в верхний бьеф от речных условий; сложностью в эксплуатации и др. [5, 6].

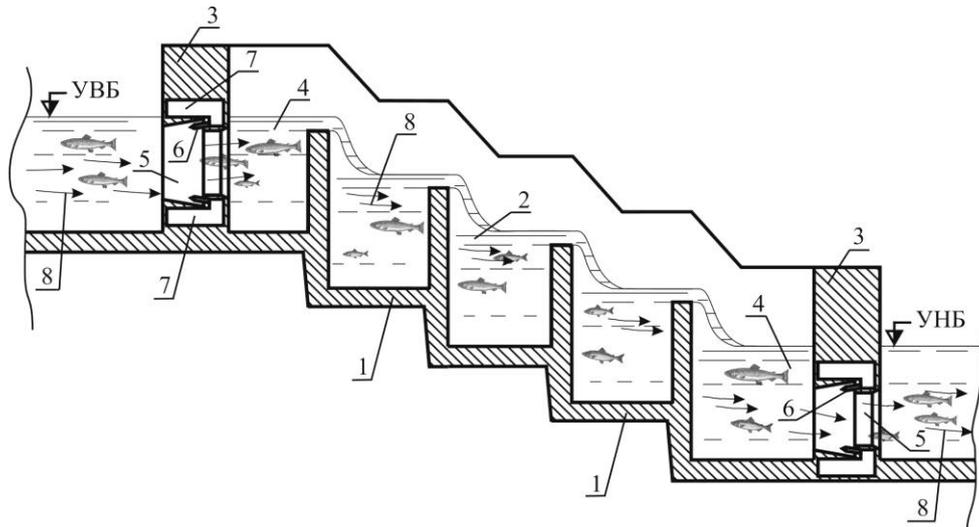
В свою очередь, рыбоходы являются наиболее распространенным, исследованным и широко используемым на практике видом рыбопропускных сооружений. Они представляют собой открытые каналы, выполненные с постоянным или переменным уклоном по длине [5, 6]. Рыбоходы в своей работе используют естественное стремление рыб идти на нерест против течения. Поэтому условия пропуска рыб в рыбоходах близки к естественным. В основе работы действующих рыбоходов лежит технология создания транзитных течений с благоприятным для движения рыб гидравлическим режимом. Специально организованное транзитное течение используют для привлечения рыб в рыбоход, ориентации и стимуляции их движения по его маршевым камерам, а также с целью создания условий для отдыха рыб в водоворотных зонах, формируемых как в маршевых камерах, так и в камерах отдыха. Несмотря на очевидные достоинства перед рыбоподъемниками, используемые в настоящее время конструкции рыбоходов имеют очень существенный недостаток, значительно, а в отдельных случаях и полностью снижающий эффективность рыбопропуска. Суть данного недостатка заключается в следующем. Известно, что для водохранилищ характерны регулярные технологические колебания уровня воды, приводящие к изменению на гидроузле перепада между бьефами [5]. Однако от последнего напрямую зависит скорость транзитного (привлекающего рыбу) течения по длине рыбоходного тракта. Поэтому она также подвержена регулярным колебаниям. Это обстоятельство приводит к нарушению условий эффективного пропуска рыб. Поскольку в случае величины перепада между бьефами, большей расчетной, формируется в рыбоходе транзитное течение с непреодолимо высокими для рыб скоростями. Это повлечёт за собой слабое выделение привлекающего шлейфа и отсутствие условий для поступательного движения рыб против течения вверх по рыбоходу. С целью устранения указанного недостатка рыбоходов нами предложены классические конструкции рыбоходов, работающих по новой экологической технологии, которая заключается в стабилизации гидравлических условий пропуска рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф с помощью гидравлических струй (рис. 2) [5-7].

**Математическая модель предлагаемого технического решения и краткие результаты экспериментальных исследований.** При истечении гидравлических струй из струеобразующих насадков (рис. 2), установленных по периметру рыбопропускного отверстия, как правило, прямоугольной формы в поперечной разделительной стенке,

образующей камеру рыбохода, формируется суммарный поток с осевой скоростью  $V_{U_0}$ , которую можно определить из следующего выражения [5]:

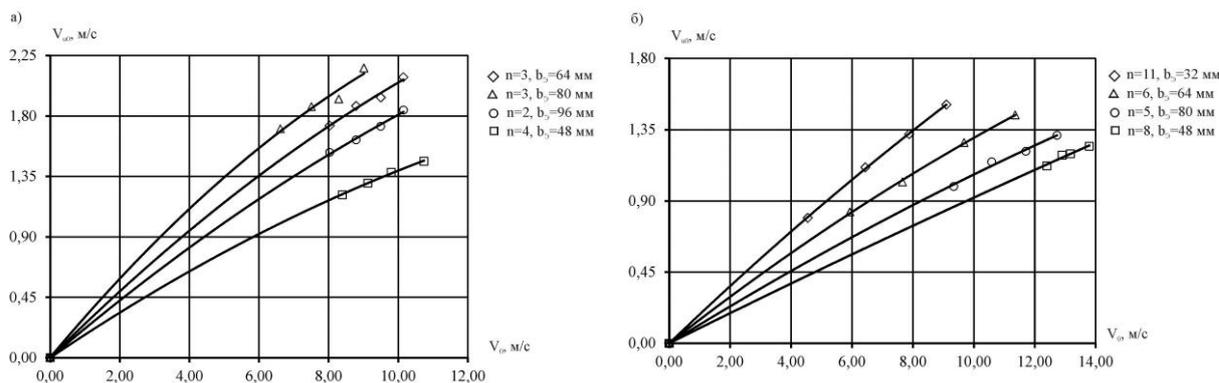
$$V_{U_0} = \varphi \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_3^{\frac{1}{3}} n}{9,514(h_3 - b_3)}, \quad (1)$$

где  $V_{U_0}$  – начальная осевая скорость суммарного потока (м/с);  $\varphi$  – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем;  $V_0$  – начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадков (м/с);  $d_{0n}$  – диаметр струеобразующих насадков (м);  $b_3$  – расстояние между осями гидравлических струй (м);  $n$  – число гидравлических струй в ряду;  $h_3$  – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй (м).



**Рис. 2. Схема классического лестничного рыбохода с регуляторами расхода воды:**  
 УВБ – уровень верхнего бьефа; УНБ – уровень нижнего бьефа; 1 – рыбопропускной тракт рыбохода;  
 2 – камеры рыбохода; 3 – поперечная разделительная стенка регулятора расхода воды;  
 4 – камера регулятора расхода воды; 5 – рыбопропускное отверстие; 6 – струеобразующие насадки;  
 7 – питающие насадки коллекторы; 8 – привлекающий рыбу поток воды

Поперечная разделительная стенка с рыбопропускным отверстием предлагаемой конструкции за счет суммарного потока играет роль регулятора расхода воды, позволяя формировать в рыбоходном тракте рыбохода оптимальную скорость транзитного (привлекающего рыбу) течения (рис. 2). Практика проектирования рыбоходных сооружений [8] и анализ выражения (1) показывает, что изменять величину  $V_{U_0}$  целесообразнее всего за счет начальной скорости истечения гидравлических струй из струеобразующих насадков  $V_0$  или количества гидравлических струй в ряду  $n$ , что подтверждается и экспериментальными исследованиями (рис. 3) [6, 8].



**Рис. 3. Графические зависимости изменения величины начальной осевой скорости суммарного потока  $V_{U0}$  от значения скорости истечения гидравлических струй  $V_0$  из струеобразующих насадков, полученные на гидравлической модели масштабom  $\lambda_L = 10$  при различных количествах насадков  $n$  и расстояниях между осями гидравлических струй  $b_j$ : а) диаметр струеобразующих насадков  $d_{0n} = 10$  мм; б) диаметр струеобразующих насадков  $d_{0n} = 7$  мм**

Привлекающее рыбу течение в рыбоходе формируют за счет так называемого дополнительного (избыточного) напора  $\Delta H$ , зависящего от значения  $V_{U0}$  и действительной величины напора  $H$ , приходящегося на перегородку регулятора расхода воды (рыбохода):

$$\Delta H = H - \frac{V_{U0}^2}{g}, \quad (2)$$

где  $\Delta H$  – величина дополнительного напора (м);  $H$  – величина напора на перегородку регулятора расхода воды (рыбохода) (м);  $V_{U0}$  – начальная осевая скорость суммарного потока (м/с);  $g$  – ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>).

Величину  $\Delta H$  необходимо устанавливать в зависимости от вида движущейся по рыбоходному тракту рыбы. В таблице представлены оптимальные значения величины  $\Delta H$  в зависимости от требуемого привлекающего потока, рассчитанного по известным методикам [5, 6].

Представленные в таблице данные получены путем пересчета привлекающих и сносящих рыб скоростей по следующей формуле, которая устанавливает связь между величиной  $\Delta H$  и средней скоростью привлекающего потока  $V_{ПРИВ.СР.}$  на входе в рыбопропускное отверстие рыбохода (регулятора расхода воды):

$$V_{ПРИВ.СР.} = \varphi_{П.} \sqrt{2g\Delta H}, \quad (3)$$

где  $V_{ПРИВ.СР.}$  – средняя скорость привлекающего потока;  $\varphi_{П.}$  – коэффициент, устанавливаемый опытным путём (по результатам экспериментальных исследований рекомендуем  $\varphi_{П.} = 0,5$ );  $g$  – ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>);  $\Delta H$  – величина дополнительного напора.

**Оптимальные значения величины  $\Delta H$  в зависимости от вида движущейся рыбы**

Вид рыб	оптимальные величины				максимальные величины			
	привлекающая скорость, м/с		дополнительный напор $\Delta H$ , м		сносящая скорость, м/с		дополнительный напор $\Delta H$ , м	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Лососевые	0,90	1,40	0,26	0,63	1,10	1,60	0,39	0,82
Осетровые	0,70	1,20	0,16	0,46	0,90	1,40	0,26	0,63
Частиковые	0,50	0,80	0,08	0,20	0,90	1,20	0,26	0,46

**Выводы.** Комплексное применение предлагаемых выше инновационных технических устройств и технологий позволит восстановить естественное воспроизводство рыб, а также обеспечить их безопасность при эксплуатации гидротехнических объектов различного назначения. В конечном итоге данный подход даст возможность численно поддерживать популяции проходных и полупроходных рыб на достаточном уровне не только для выживания, но и для интенсивного освоения водохранилищ гидроэнергетического или иного назначения.

*Список литературы*

1. Введенский О. Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 67-81.
2. Введенский О. Г., Обухов А. Г., Фарафонова Е. С. Комплекс мероприятий по обеспечению естественного воспроизводства рыбы в условиях Чебоксарского водохранилища // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. Вып. 6. С. 163-169.
3. Введенский О. Г. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 4. С. 74-84.
4. Введенский О. Г., Зарницын А. Ю. Использование гидравлических струй в лестничных рыбоходах // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. Вып. 2. С. 289-294.
5. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения на гидравлических струях: монография / О. Г. Введенский. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. 264 с.
6. Пат. 2342485 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О. Г. Введенский (РФ). № 2006141959/03; заявл. 27.11.2006; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36. 14 с.
7. Введенский О. Г. Разработка экологически щадящей технологии использования водных потоков для пропуска рыб на нерест через ГТС: дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16. Йошкар-Ола, 2001. 286 с.
8. Введенский О. Г. Эксперименты по исследованию параллельно-струйных течений во встречном потоке тех же физических свойств / Марийск. гос. пед. ин-т. М., 2004. 38 с. Деп. в ВИНИТИ 01.03.04; № 356.

**ACTIONS FOR RESTORATION OF FISH STOCKS IN THE CONDITIONS OF INTENSIVE DEVELOPMENT OF RESERVOIRS**

*Vvedenskiy Oleg Germanovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar Ola

*It is discussed possible approaches of holding actions of the fish stocks directed to restoration in the conditions of intensive development of reservoirs. Options of new technical solutions on restoration of natural reproduction of fishes and their mathematical justification are presented. Results of pilot studies are given.*

**Keywords:** *hydrosystem's, storage pool, fish spawning migration, fish-migration, natural production of fish*

УДК 627.882 + 532.522

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕЛИВНЫХ ПЛОТИН ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНЗИТНОГО ТЕЧЕНИЯ В РЫБОХОДНО-НЕРЕСТОВЫХ КАНАЛАХ

*Введенский Олег Германович, Вохминцева Елена Валерьевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола  
VvedenskyOG@volgatech.net

*Изложена проблема повышения эффективности работы рыбоходно-нерестовых каналов для восстановления нерестовых и покатных миграций при строительстве плотин на реках. Представлена математическая модель предлагаемых технологических и технических решений в прикладной программной среде MathCad.*

**Ключевые слова:** гидроузел, водохранилище, рыбоходно-нерестовый канал, нерестовая миграция рыбы, покатная миграция рыбы, естественное воспроизводство рыбы

**Введение.** Гидротехническое строительство, направленное на создание водохранилищ, ведет к изменению стока реки, зависящего от времени года и суток. Кроме того, возводимые для этих целей плотины разрушают целостность анадромных миграций проходных и полупроходных видов рыб [1]. Нерестовые миграции против течения приостанавливаются плотинами, что ведет к прекращению естественного воспроизводства, а покатные миграции заканчиваются гибелью рыб в турбинах ГЭС или в водохранилище. Наносимый ущерб в этом случае будет зависеть от площади нерестилищ, потерянных вследствие возведения плотин. Для возмещения данного ущерба сохранившиеся нерестовые угодья необходимо дополнить системами рыбоходно-нерестовых каналов [1, 2].

Рыбоходно-нерестовые каналы представляют собой один из видов рыбоходных сооружений, т. е. продвижение рыб на нерест связано с затратой собственной энергии. Отличительной чертой подобных сооружений является то, что водопропускные тракты выполняют с имитацией натурального рельефа речного ложа: плесы и перекаты; поймы и русла [2]. Кроме того, выходную часть нерестового канала необходимо разместить выше плотины, в верхнем бьефе гидроузла, т.е. только в этом случае будет совмещена функция нерестового канала и рыбоходного сооружения [3].

На участках канала, соответствующих определенным гидравлическим условиям, укладывают определенные виды субстрата для кладки икры: имитированная растительность для фитофилов; песок – псаммофилов; камни – литофилов [2].

На эффективность работы рыбоходно-нерестовых каналов существенным образом оказывает влияние колебаний уровней бьефов гидроузла, связанных со временем года, суток или днем недели. От уровней воды в бьефах гидроузла зависят обводнение каналов и величина скорости транзитного течения по длине водопропускного тракта [4]. Колебания уровня воды ведут к осушению подготовленных нерестилищ и, соответственно, к гибели икры и личинок рыб. Чрезмерное заглубление нерестилищ приводит непродуктивности икринок. Кроме того, низкий уровень заполнения верхнего бьефа снижает стимулирующее воздействие течения реки на привлечение в рыбоход-

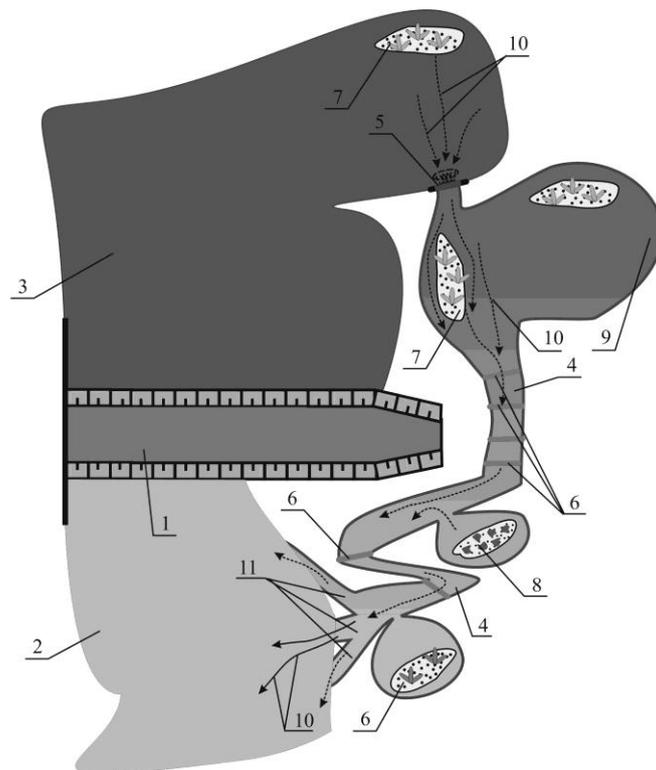
но-нерестовый канал физиологически подготовленных производителей рыб; высокий уровень, наоборот, создает для рыб, идущих на нерест, непреодолимо высокие скорости [1, 2, 4].

Вторым существенным недостатком, как и любого другого рыбоходного сооружения, является необходимость гашения и регулирования скорости в рыбоходном тракте сооружения. В настоящее время используются в основном механические способы гашения энергии, что крайне неэффективно и небезопасно с точки зрения экологии рыб [4].

**Цель работы** – обоснование технологии, направленной на создание оптимальных и безопасных условий в рыбоходно-нерестовых каналах для нереста рыб, выклева личинок из икры, подроста, нагула, анадромных и покатных миграций в условиях гидротехнического строительства.

**Решаемая задача** – разработка конструкции рыбоходно-нерестового канала, обеспечивающей заданные скорости транзитного течения в рыбоходном тракте и необходимый уровень обводнения канала с построением математической модели.

**Объект разработки и исследования.** Рыбоходно-нерестовый канал, как уже выше отмечалось, выполняют в виде трапецеидального русла (водосливного лотка), расположенного в обход гидроузла, обеспечивая бесступенчатое соединение с верхним и нижним бьефами (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема размещения рыбоходно-нерестового канала в составе гидроузла:

- 1 – плотина гидроузла; 2 – нижний бьеф гидроузла; 3 – верхний бьеф гидроузла;
- 4 – рыбоходно-нерестовый канал; 5 – водопропускное сооружение; 6 – переливные плотины;
- 7 – прибрежное нерестилище для филофильных видов рыб;
- 8 – нерестилище для литофильных видов рыб; 9 – акватория канала для нагула молоди рыбы;
- 10 – транзитный поток привлекающего или сносящего характера; 11 – многоголовый входной оголовок

Водосливной лоток должен напоминать натуральную реку, где специальным образом должны быть оборудованы места для нереста, подроста и нагула молоди рыбы (рис. 1). В качестве субстрата для искусственных нерестилищ (в зависимости от группы рыб) применяются различные материалы натурального и синтетического происхождения: растительность (хвойные ветви, сухая трава, водоросли и др.), синтетические материалы, сетное полотно, галька, гравий, керамзит, песок и др.

На дне водопроводящего тракта рыбоходно-нерестового канала для гашения и регулирования скорости транзитного течения устанавливают элементы усиленной и естественной шероховатости, а также каскады переливных плотин (рис. 1, 2). Например, переливная плотина высотой 60 см гасит уровень воды высотой 10-20 см при глубине канала около 6 м. В рыбоходно-нерестовых каналах также рекомендуем использовать многоголовый входной оголовок, образованный дополнительными устьевыми частями водопропускных трактов, соединяющих основной водоток канала с нижним бьефом (рис. 1).



Рис. 2. Переливная плотина на рыбоходно-нерестовом канале

Кроме того, на выходе нерестового канала устанавливают водопропускные сооружения, использующие в своей работе гидравлические струи [3-5]. С их помощью создают противоток, регулирующий транзитное течение по рыбоходно-нерестовому каналу. Сами водопропускные сооружения представляют собой разделительные стенки с рыбопропускными отверстиями, обрамленными симметричной многониточной системой струеобразующих насадков, направленных в противоположные стороны (рис. 3).

Нейтрализацию относительно небольших колебаний перепадов уровней на плотине и установление оптимального уровня воды [5, 6] в нерестовом канале и, следовательно, необходимого скоростного режима транзитного течения можно достичь, изменяя начальную скорость  $V_0$  истечения водяных струй в диапазоне  $0 \div 10$  м/с. Такой диапазон скоростей истечения гидравлических струй обеспечивает безопасные условия для прохождения и производителями, и покатниками рыбопропускного отверстия.

При падении уровней воды до значений, не позволяющих создать привлекающее течение по рыбопропускному тракту, гидравлические струи подают спутно транзитному течению. Они восстанавливают привлекающий гидравлический режим транзитного течения [7, 8]. Затем при изменении перепада уровней на обратное с помощью этих же струй обеспечивают противоток потоку в противоположном направлении и создание благоприятного привлекающего производителей рыб скоростного режима.

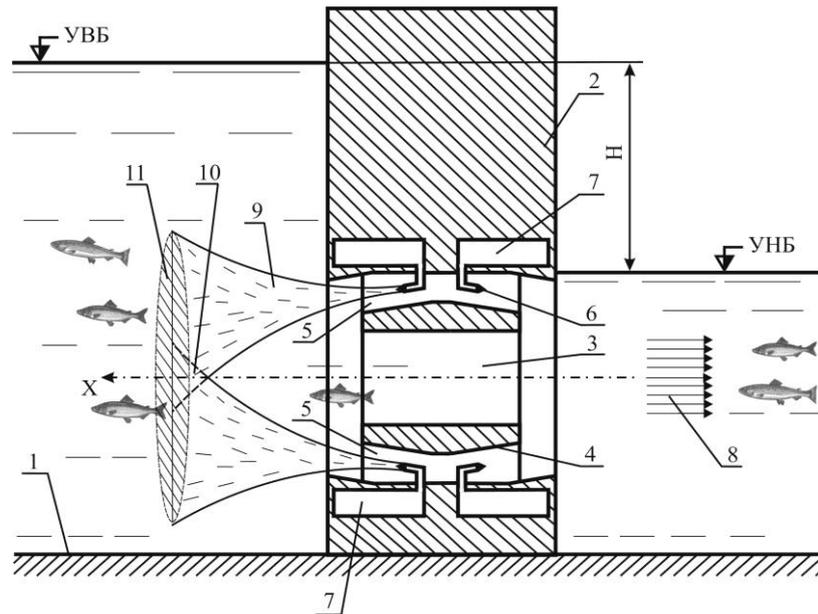


Рис. 3. Схема водопропускного сооружения рыбоходно-нерестового канала: 1 – водосливной лоток; 2 – поперечная разделительная стенка; 3 – рыбопропускное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – транзитные галереи; 6 – струеобразующие насадки; 7 – напорные коллекторы; 8 – привлекающий поток; 9 – водяные струи; 10 – противоток; 11 – зона «частично равных давлений»

#### Исходные данные

Расход в канале трапецеидального сечения, м<sup>3</sup>/с

$Q := 32$

Заложение откосов

$m := 1.5$

Коэффициент шероховатости стенок открытых естественных русел:

- грунтовые каналы правильной формы, покрытые илистым грунтом  
вариант1 := 0

- каналы в песчаных и супесчаных грунтах

вариант2 := 1

- каналы грунтовые без дополнительной планировки поверхности

вариант3 := 0

- грунтовые каналы при плохих условиях содержания (наличие водорослей, валунов и булыжников)

вариант4 := 0

- грунтовые каналы при существенно плохих условиях содержания

вариант5 := 0

#### Расчетные параметры

Расходная характеристика для равномерного движения потока, м<sup>3</sup>/с

$$K_0 := \frac{Q}{\sqrt{H_0}}$$

$K_0 = 505.964$

Параметр, характеризующий гидравлически наилучшее сечение,

$$\beta_{гн} := 2 \cdot (\sqrt{1 + m^2} - m)$$

Глубина воды в канале, м

$$h := 0.01..2.5$$

Ширина канала

$$b(h) := \beta_{гн} \cdot h$$

Площадь живого сечения, м<sup>2</sup>

$$\omega(h) := (b(h) + m \cdot h) \cdot h$$

Смоченный периметр, м

$$\chi(h) := b(h) + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$$

Гидравлический радиус, м

$$R(h) := \frac{\omega(h)}{\chi(h)}$$

Коэффициент Шези

$$C(h) := \frac{1}{n} \cdot R(h)^{\frac{1}{6}}$$

Расходная характеристика, м<sup>3</sup>/с

$$K_0(h) := K_0$$

$$K(h) := \omega(h) \cdot C(h) \cdot \sqrt{R(h)}$$

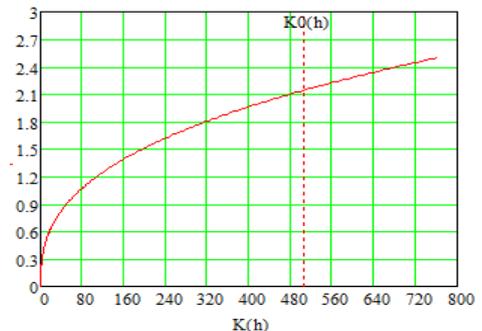


Рис. 4. Фрагмент программы в среде MathCad реализации математической модели предлагаемого технического решения

**Математическая модель предлагаемого технического решения.** Для проектирования и эксплуатации рыбоходно-нерестового канала следует знать плавательную способность рыб. Исходными данными для расчета рыбоходно-нерестового канала являются перепад уровней между верхним и нижним бьефом канала, расход канала, средняя необходимая скорость течения воды в канале, необходимая глубина канала, коэффициент шероховатости канала, применяемый с нерестовым субстратом, коэффициент заложения откосов канала [8]. С целью автоматизации расчетов по проектированию и эксплуатации элементов рыбоходно-нерестового канала нами реализована математическая модель предлагаемого технического решения в прикладной программной среде MathCad (рис. 4).

**Выводы.** Таким образом, использование каскада переливных плотин позволит достаточно эффективно и безаварийно гасить и регулировать скорость транзитного течения по всей длине водопроводящего тракта рыбоходно-нерестового канала. В случае аварийного сброса воды, если разрушится хотя бы одна из переливных плотин каскада, дополнительный сброс воды будет небольшим, что не приведет к выходу воды из русла канала. Кроме того, исключается возможность ошибки при проектировании каскада переливных плотин, так как при возведении одной переливной плотины уровень воды в водотоке поднимается незначительно.

Кроме того, водопропускное сооружение, установленное на выходе из рыбоходно-нерестового канала и использующее в своей работе гидравлические струи, позволит уже только в одном рыбопропускном отверстии компенсировать негативное влияние циклических колебаний уровней бьефов гидроузла на эффективность работы рыбоходно-нерестового канала, а также предоставляет широкие возможности: простым и надежным способом регулировать скорость транзитного (привлекающего) водного течения; непрерывно пропускать мигрантов через створ гидроузла в противоположных направлениях; обеспечить возможность прохода по каналу и нереста всего видового состава производителей рыб; соблюдать все экологические требования охраны природы.

На перемещение речных мигрантов решающее влияние оказывает не столько циклическое изменение уровней бьефов гидроузла, направление скорости течения, сколько необходимость двигаться в заданном направлении, используя при этом как встречную, так и попутную скорость течения. В этом случае регулированием пропуска воды через рыбопропускное отверстие водопропускного сооружения канала вне зависимости от величины напора на плотину гидроузла можно постоянно обеспечивать в рыбопропускном тракте канала благоприятный скоростной режим течения потока для прохода мигрантов через створ гидроузла в обоих направлениях.

Кроме того, предложенная в работе математическая модель предлагаемого технического решения в прикладной программной среде MathCad предоставит возможность существенным образом упростить решение задач, связанных с проектированием и эксплуатацией рыбоходно-нерестовых каналов.

Список литературы

1. Введенский О. Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 67-81.
2. Введенский О. Г. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 4. С. 74-84.
3. Введенский О. Г., Кириллов Д. Э. Рыбозащитное сооружение рыбонаправляющего действия // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. Вып. 4. С. 142-147.
4. Введенский О. Г. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения на гидравлических струях: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. 264 с.
5. Введенский О. Г. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла // Вестник Марийского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 1. С. 59-68.
6. Введенский О. Г. Использование гидравлических струй для совершенствования технологии работы рыбоходных сооружений // Гидротехническое строительство. 2009. № 1. С. 21-27.
7. Пат. 2179265 РФ, МПК<sup>7</sup> F04F 5/02. Способ транспортировки жидкости с первого участка на второй, выше расположенный участок / О.Г. Введенский (РФ). № 2000110254/06; заявлено 20.04.2000; опубл. 10.02.2002, Бюл. № 4.
8. Введенский О. Г. Разработка экологически щадящей технологии использования водных потоков для пропуска рыб на нерест через ГТС: дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16. Йошкар-Ола, 2001. 286 с.

**USE OF OVERFLOW DAMS FOR REGULATION OF A TRANSIT CURRENT  
IN FISH PASSING AND SPAWNING CHANNELS**

*Vvedenskiy Oleg Germanovich, Vochminceva Elena Valerevna*

Volga State University of Technology, Yoshkar Ola

*The problem of increase of overall performance of fish passing and spawning channels for restoration spawning and the pokatnykh of migrations at construction of dams on the rivers. The mathematical model of the proposed technology and technical solutions in the applied program Mathcad environment is presented.*

**Keywords:** *hydrosystem's, storage pool, fish passing and spawning channel, man-made spawning-ground, fish spawning migration, fish-migration.*

УДК 544.723.162

**ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ОБРАЗЦАХ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯМР**

*Гогелашвили Гоча Шотаевич, Ладычук Дмитрий Владимирович,  
Грунин Юрий Борисович, Целищева Лариса Владимировна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
GogelashviliGS@volgatech.net

*Методы физико-химического анализа (адсорбционный и импульсный ЯМР) использованы для изучения системы целлюлоза – жесткосвязанная вода. По данным метода ЯМР установлена взаимосвязь между временами стин-решеточной релаксации и энергии активации молеку-*

лярного вращательного движения комплексов  $-CH_2OH$  на пятом углеродном атоме глюкопиранозного кольца аморфных областей целлюлозы и молекул воды со структурными характеристиками образцов целлюлозы.

**Ключевые слова:** целлюлоза, жесткосвязанная вода, адсорбция, ядерный магнитный резонанс, магнитная релаксация.

**Введение.** Жесткосвязанной водой ( $w_{св}$ ) является водная фракция, не удаляющаяся из целлюлозы в процессе ее сушки при температуре 105 °С в течение 4 часов. Наличие этой воды сильно влияет на пластичность, химическую реакционную способность и другие физико-химические свойства целлюлозного волокна. Ранее применяемый калориметрический метод по определению количества жесткосвязанной воды предполагает сжигание трехкилограммовых целлюлозных папок и является очень трудоемким [1]. По сравнению с ним метод ЯМР совместно с методом дейтерирования является неразрушающим и гораздо менее трудоемким [2].

**Цель работы** – определение влияния жесткосвязанной воды в образцах целлюлозы различного происхождения на характеристики ЯМР.

**Решаемые задачи:** 1) определение количества жесткосвязанной воды, времен спин-спиновой релаксации ( $T_1$ ), энергии активации вращательного движения комплексов  $-CH_2OH$  на пятом атоме углерода глюкопиранозного кольца и молекул воды ( $E_{акт}$ ); 2) установление их связи со структурными характеристиками образцов целлюлозы.

**Техника эксперимента и методика обработки результатов.** Изучены 6 образцов целлюлозы. Их структурные и сорбционные параметры приведены в таблице 1. Измерения параметров ЯМР-релаксации образцов целлюлозы проводились на спектрометре с рабочей частотой 42 МГц, длительность 90° импульса – 0,6 мкс. Времена спин-решеточной ( $T_1$ ) релаксации определялись по так называемому “нуль-методу” (импульсная последовательность 180°- $\tau$ -90°) [2]. Для анализа экспериментальных данных применялась компьютерная математическая программа Origin 6.1.

**Интерпретация результатов.** Данные, полученные при исследовании доступности для дейтерия различных модификаций целлюлозы, а также полное дейтерирование целлюлозы при температуре 100-110 °С позволяют определить количество жесткосвязанной воды в образцах целлюлозы [2].

Как известно [2], из 10 протонов глюкопиранозного звена целлюлозы замещению дейтерием подвергаются лишь 3 протона гидроксильных групп. Следовательно, при полном дейтерировании справедливо отношение

$$A_{кд}/A_{к} = 0,7, \quad (1)$$

где  $A_{к}$  и  $A_{кд}$  – амплитуды короткой компоненты сигнала ССИ для образца целлюлозы до и после дейтерирования соответственно.

Исходя из вышеописанного, для определения количества жесткосвязанной воды в целлюлозных материалах можно использовать соотношение

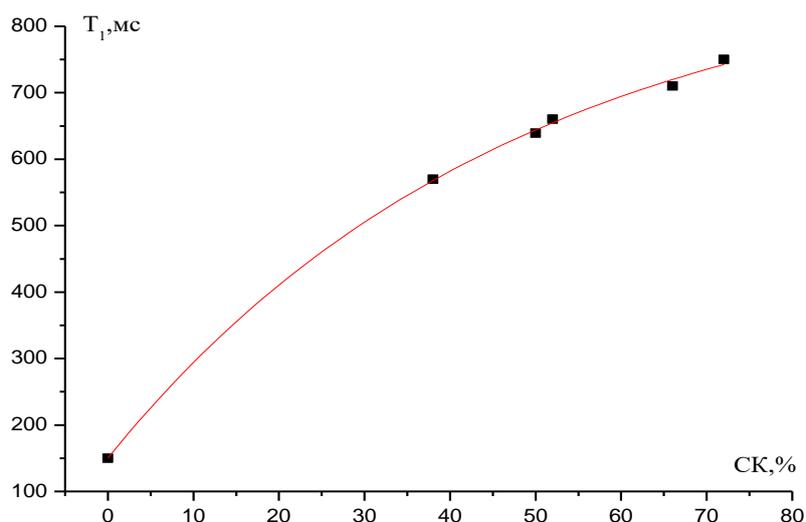
$$w_{св} = 0,556 \cdot (1 - 0,7 \cdot A_{кд}/A_{к}). \quad (2)$$

Количество жесткосвязанной воды в целлюлозе различной модификации зависит от степени кристалличности (см. таблицу) и в большей степени от предыстории образца. В модифицированных образцах целлюлозы II и III обнаруживается значительно большее количество жесткосвязанной воды, чем в образцах нативной целлюлозы I. Это обусловлено наличием у модифицированных образцов целлюлозы большего количества дефектных и легкодоступных областей в кристаллических образованиях [2].

**Структурные и сорбционные параметры целлюлозных материалов**

Образец	СП	СК, %	$w_{св}$ , %
Хлопковая целлюлоза I	1300	72	0,28
Облагороженная сульфатная древесная целлюлоза I	1200	66	0,75
Мерсеризованная сульфатная целлюлоза III	350	52	1,93
Целлюлоза III, обработанная водой, стабильна	350	50	1,78
Регенерированная целлюлоза II вискозное волокно	300	38	2,49
Гемицеллюлоза	-	0	5,63

Примечание. СП – степень полимеризации; СК – степень кристалличности;  $w_{св}$  – количество жесткосвязанной воды



**Рис. 1. Зависимость времени спин-спиновой релаксации ( $T_1$ ) от степени кристалличности (СК) для сухих образцов целлюлозы**

На графике зависимости времени спин-спиновой релаксации ( $T_1$ ) от степени кристалличности (СК) (рис. 1) для исследованных образцов целлюлозы наблюдается нелинейная зависимость, что можно объяснить наличием в них жесткосвязанной воды. Данная зависимость аппроксимируется следующей функцией:

$$T_1 = 910 - 759,76 * \exp(-СК/47,65) . \tag{3}$$

В данной работе методом ЯМР также были проведены измерения времени спин-решеточной релаксации ( $T_1$ ) системы жесткосвязанная вода–целлюлоза в интервале

температур 25-100 °С для образцов целлюлозы различной модификации с целью оценки энергии активации вращательного движения комплексов  $-\text{CH}_2\text{OH}$  на пятом углероде глюкопиранозного кольца и молекул воды ( $E_{\text{акт}}$ ).

Известно, что скорость ЯМР-релаксации связана с интенсивностью молекулярного движения, характеристикой которого является время корреляции  $\tau_c$  [3, 4]. В частности, анализ данных измерения времен спин-решеточной релаксации на ядрах  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^{17}\text{O}$  для объемной воды показал [4], что для дипольного механизма релаксации справедливо

$$1/T_1 \cong \text{const} \cdot \tau_c \quad (4)$$

Следовательно, анализ температурных зависимостей времен ЯМР-релаксации, в частности  $T_1$ , позволяет судить об изменении интенсивности молекулярного движения и определять энергию активации молекулярного движения, контролирующего этот механизм релаксации [3, 4].

Подвижность комплексов  $-\text{CH}_2\text{OH}$  и молекул воды в целлюлозе достаточно велика, так что выполняются условия быстрого обмена [3]. В условиях быстрого обмена релаксация адсорбированных молекул воды и целлюлозы определяется одним усредненным временем  $T_{1\text{ср}}$ . Исходя из соотношения (4), а также активационной модели движения, которой соответствует уравнение Аррениуса:

$$\tau_c = \tau_0 \cdot \exp(-E_{\text{акт}}/RT), \quad (5)$$

можно определить энергию активации молекулярного движения, т.е. вращательного движения комплексов  $-\text{CH}_2\text{OH}$  на пятом углероде глюкопиранозного кольца и молекул воды ( $E_{\text{акт}}$ ), с помощью экспериментальных зависимостей  $\ln T_{1\text{ср}} = f(10^3/T)$  [3-5].

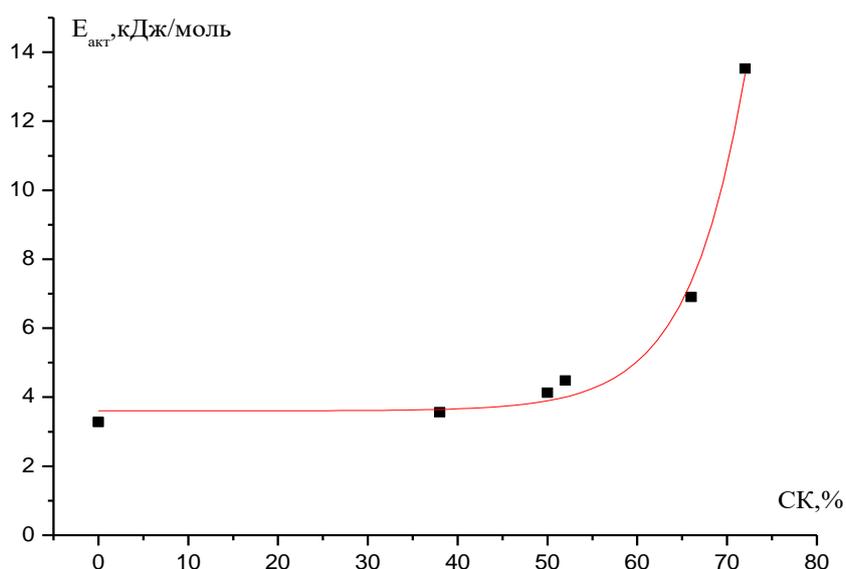


Рис. 2. Зависимость энергии активации молекулярного движения ( $E_{\text{акт}}$ ) от степени кристалличности (СК) для сухих образцов целлюлозы

На графике зависимости  $E_{\text{акт}} = f(\text{СК})$  для изученных образцов целлюлозы (рис. 2) наблюдается нелинейная, т.е. неоднозначная, зависимость, которая в свою очередь аппроксимируется функцией

$$E_{\text{акт}} = 3,61 + 9,67 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(\text{СК}/6,25). \quad (6)$$

Вероятно, на величину  $E_{\text{акт}}$  влияет не только степень кристалличности, но и другие параметры образцов, в частности степень полимеризации и количество жесткосвязанной воды, которые в свою очередь зависят от химической природы и технологии производства целлюлозных материалов.

### Выводы

1. Опираясь на результаты исследований по определению количества жесткосвязанной воды в образцах целлюлозы различной модификации, высушенных при температуре 105 °С в течение 4 часов, и их ЯМР-характеристики, можно сказать, что зависимости времени спин-спиновой релаксации  $T_1$  и энергии активации молекулярного движения  $E_{\text{акт}}$  от степени кристалличности для изученных образцов целлюлозы являются неоднозначными, т.е. нелинейными функциями.

2. Величины времен спин-спиновой релаксации  $T_1$  и энергии активации молекулярного движения  $E_{\text{акт}}$  зависят не только от вращательного движения комплексов  $-\text{CH}_2\text{OH}$  на пятом углероде глюкопиранозного кольца в аморфных областях целлюлозы, но и от вращательного движения молекул жесткосвязанной воды.

### Список литературы

1. Рейзиньш Р. Э., Бремзе И. Я. // Материалы 1 Всесоюз. конф. по химии и физике целлюлозы. Рига, 1975. Ч. 2. С. 164-168.
2. Гогелашвили Г. Ш. Исследование надмолекулярной структуры целлюлозы и материалов на ее основе импульсным методом ЯМР: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Йошкар-Ола, 1996. 20 с.
3. Чижик В. И. Ядерная магнитная релаксация. СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2004.
4. Вашман А. А., Пронин И. С. Ядерная магнитная релаксационная спектроскопия. М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Энергетические характеристики адсорбированной воды в активных углях по данным ЯМР-релаксации / Г. Ш. Гогелашвили, Р. Ш. Вартапетян, Д. В. Ладычук, Е. В. Хозина, Ю. Б. Грунин // Журнал физической химии. 2010. Т. 84, № 2. С. 327-331.

### EFFECT OF HARDWIRED WATER IN CELLULOSE SAMPLES OF DIFFERENT ORIGIN ON THE NMR CHARACTERISTICS

*Gogelashvili Gocha Shotaevich, Ladychuk Dmitry Vladimirovich,  
Grunin Yury Borisovich, Tselishcheva Larisa Vladimirovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar Ola

*Physical and chemical analysis methods (adsorption and pulsed NMR) were used to study cellulose-tightly bound water systems. According to NMR data, a relationship has been established between the times of spin-lattice relaxation and the activation energy of the molecular rotational motion of the  $\text{CH}_2\text{OH}$  complexes on the fifth carbon of the glucopyranose ring of the amorphous regions of cellulose and water molecules with the structural characteristics of the cellulose samples.*

**Keywords:** cellulose, rigidly bound water, adsorption, nuclear magnetic resonance, magnetic relaxation

УДК 531.36

## РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКУРСИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ДИНАМИКИ ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ С ЛИНЕЙНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ\*

*Журавлев Евгений Алексеевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола  
ZhuravlevEA@volgatech.net

*Дифференциальные уравнения динамики системы тел линейной структуры с шарнирными сочленениями формируются с помощью рекурсивных алгоритмов обратной динамики. В статье дана кинетостатическая интерпретация алгоритма «составного твердого тела», примененного для вычисления матрицы инерции механизма. Приводятся псевдокоды используемых алгоритмов и результат их компьютерной реализации.*

**Ключевые слова:** система твердых тел, линейная кинематическая структура, шарнирные сочленения, прямая задача динамики, рекурсивные алгоритмы обратной динамики, компьютерная реализация.

**Введение.** Динамика системы твердых тел имеет сегодня многочисленные приложения от СУ промышленных роботов до компьютерных анимаций в видеоиграх. Вычислительная эффективность различных алгоритмов решения прямой задачи динамики системы тел существенно зависит от числа  $N$  её степеней свободы [1]. При  $N \geq 6$  наиболее эффективными считают алгоритмы, использующие для формирования динамических уравнений «рекурсивный алгоритм Ньютона-Эйлера» и различные его модификации [2]. Особенно заметно их преимущество при динамическом моделировании механизмов с линейной или древовидной кинематической структурой. Несмотря на это, в отечественной научной литературе отсутствуют как методологические разработки, так и практические результаты в виде ПО для компьютерного моделирования динамики систем тел на основе рекурсивных алгоритмов. Современные зарубежные монографии [2] и справочники [3] используют, на наш взгляд, излишне формализованное описание рекурсивной методики, способное скорее отпугнуть инженера механика (или программиста), чем привлечь его внимание к этим замечательным алгоритмам.

**Цель работы** – кинетостатическое описание методологии рекурсивной динамики многотельных механических систем и её алгоритмическая и программная реализация в форме, доступной как для обучения, так и для выполнения научных и прикладных расчетов.

**Решаемые задачи:** 1) описание рекурсивных алгоритмов динамического моделирования систем связанных твердых тел на языке кинетостатики, доступном для отечественного инженера-пользователя; 2) получение программных реализаций этих алгоритмов, их апробация и описание в форме псевдокодов.

---

\* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»

**Математическое моделирование.** Кинетическая энергия системы твердых тел, подчиненных стационарным геометрическим неосвобождающим связям с  $n$  степенями свободы, представляется положительно-определенной квадратичной формой обобщенных скоростей [4]:  $T = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^s A_{ij}(\mathbf{q}) \dot{q}_i \dot{q}_j$ , где  $\mathbf{q} = (q_1, \dots, q_n)$ .

Дифференциальные уравнения динамики такой системы имеют следующий вид [4]:

$$\begin{pmatrix} A_{11}\ddot{q}_1 & A_{12}\ddot{q}_2 & \dots & A_{1n}\ddot{q}_n \\ A_{21}\ddot{q}_1 & A_{22}\ddot{q}_2 & \dots & a_{2n}\ddot{q}_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1}\ddot{q}_1 & A_{n2}\ddot{q}_2 & \dots & a_{nn}\ddot{q}_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_1\dot{\mathbf{q}}^T \\ \dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_2\dot{\mathbf{q}}^T \\ \dots \\ \dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_n\dot{\mathbf{q}}^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_s \end{pmatrix}, \text{ матричная форма } \mathbf{A}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{Q}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{H}_i$  – квадратные матрицы порядка  $n$ , элементы которых зависят лишь от обобщенных координат  $\mathbf{q}$ ;  $Q_i$  – обобщенные силы;  $\dot{\mathbf{q}} = (\dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n)$ ;  $\ddot{\mathbf{q}} = (\ddot{q}_1, \dots, \ddot{q}_n)$ .

Именно благодаря структуре (1) динамических уравнений существует возможность для любого состояния  $\mathbf{q}$ ,  $\dot{\mathbf{q}}$  системы вычислить матрицу инерции  $\mathbf{A}$  и вектор  $\mathbf{G}$  её гироскопических и центробежных членов, решая обратные задачи динамики. Рассмотрим детально алгоритмы вычисления значений  $A_{ij}$ ,  $G_i$  для систем частного вида.

Пусть все тела системы связаны цилиндрическими шарнирами так, что образуют открытую кинематическую цепь с нумерацией от неподвижного основания (рис. 1). С каждым телом жестко связаны оси  $X_i, Y_i, Z_i$  декартовой системы координат СК( $i$ ), причем  $Z_i$  – ось сочленения тел  $i$  и  $i-1$  ( $i=0$  соответствует неподвижному основанию).

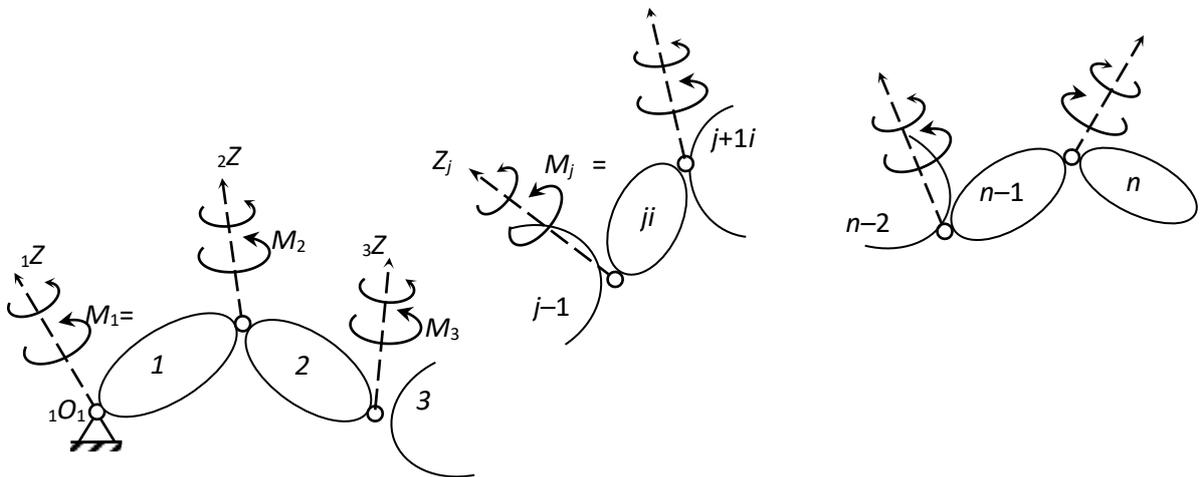


Рис. 1. Структура системы. Нумерация тел, обобщенных координат и приводных моментов

Известны инерционные характеристики тел: массы  $m_i$ , радиус-векторы  $\mathbf{r}_i(x_i, y_i, z_i)$  центров масс, матрицы инерции  $\mathbf{I}_i$  в центральных осях, параллельных  $X_i, Y_i, Z_i$ . Обобщенные координаты системы – углы  $q_i$  относительно поворота тел.

Если активные силы – только приводные пары с моментами  $M_i$  в сочленениях (рис. 1), то обобщенные силы, очевидно, равны этим моментам  $Q_i = M_i$ , а из системы (1) следует, что компоненты вектора  $\mathbf{G}$  численно равны таким значениям приводных моментов, которые обеспечивают в данном состоянии  $\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}$  системы её движение с нулевыми обобщенными ускорениями  $\ddot{\mathbf{q}} = 0$ :

$$G_1(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = Q_1 = M_1, G_2(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = Q_2 = M_2, \dots, G_n(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = Q_n = M_n.$$

Нахождение таких моментов является решением обратной задачи динамики: по заданным координатам  $\mathbf{q}$ , скоростям  $\dot{\mathbf{q}}$ , ускорениям  $\ddot{\mathbf{q}} = 0$  и инерционным характеристикам тел найти приводные моменты  $M_i$ . Для решения этой задачи наиболее эффективен рекурсивный двухпроходной алгоритм [4], в котором прямым ходом  $i = 1, \dots, n$  вычисляются ускорения – угловые  $\boldsymbol{\varepsilon}_i$  и центров масс тел  $\mathbf{a}_i$ , а обратным  $i = n, \dots, 1$  – моменты  $M_i = G_i$ .

Для расчета угловых скоростей и ускорений тел  $\boldsymbol{\omega}_k$  и  $\boldsymbol{\varepsilon}_k$ , ускорений  $\mathbf{a}_k$  их центров масс используют известные формулы кинематики твердого тела и правила сложения скоростей и ускорений:

$$\boldsymbol{\omega}_1 = \dot{q}_1 \mathbf{k}, \boldsymbol{\omega}_i = \mathbf{P}_i \boldsymbol{\omega}_{i-1} + \dot{q}_i \mathbf{k}, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_1 = 0, \boldsymbol{\varepsilon}_i = \mathbf{P}_i \boldsymbol{\varepsilon}_{i-1} + (\mathbf{P}_i \boldsymbol{\omega}_{i-1}) \times (\dot{q}_i \mathbf{k}), \quad (2)$$

$$\mathbf{a}_1 = \boldsymbol{\omega}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_1), \mathbf{a}_i = \mathbf{P}_i \mathbf{a}'_{i-1} + \boldsymbol{\omega}_i \times (\boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{r}_i) + \boldsymbol{\varepsilon}_i \times \mathbf{r}_i, \quad i = 2, \dots, n, \quad (3)$$

где  $\mathbf{P}_i(q_i)$  – матрица преобразования координат вектора из СК( $i-1$ ) в СК( $i$ );  $\mathbf{k} = (0,0,1)^T$ ;  $\mathbf{a}'_1, \dots, \mathbf{a}'_{n-1}$  – ускорения начал координат  $O_2, \dots, O_n$ :  $\mathbf{a}'_1 = \boldsymbol{\omega}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}'_1)$ ,

$$\mathbf{a}'_m = \mathbf{P}_m \mathbf{a}'_{m-1} + \boldsymbol{\omega}_m \times (\boldsymbol{\omega}_m \times \mathbf{r}'_m) + \boldsymbol{\varepsilon}_m \times \mathbf{r}'_m, \quad m = 2, \dots, n-1.$$

При вычислении моментов  $M_i$  используем уравнения кинетостатики и выражения

$$\boldsymbol{\Phi}_i = -m_i \mathbf{a}_i \quad \text{и} \quad \mathbf{M}_i^\Phi = -\mathbf{I}_i \boldsymbol{\varepsilon}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{I}_i \boldsymbol{\omega}_i \quad (4)$$

для главного вектора и главного момента Даламберовых сил каждого тела (рис. 2).

$$\text{Тело } n: \begin{cases} \mathbf{N}_n + \boldsymbol{\Phi}_n = 0, \\ \mathbf{M}_n + \mathbf{M}_n^\Phi + \mathbf{r}_n \times \boldsymbol{\Phi}_n = 0, \end{cases} \text{ откуда с учетом (4)} \begin{cases} \mathbf{N}_n = m_n \mathbf{a}_n, \\ \mathbf{M}_n = \mathbf{I}_n \boldsymbol{\varepsilon}_n + \boldsymbol{\omega}_n \times \mathbf{I}_n \boldsymbol{\omega}_n + \mathbf{r}_n \times m_n \mathbf{a}_n. \end{cases}$$

$$M_n = G_n = \mathbf{k}^T \mathbf{M}_n.$$

$$\text{Тела } i = n-1, \dots, 2, 1 \begin{cases} \mathbf{N}_i + \boldsymbol{\Phi}_i - \mathbf{P}_{i+1}^T \mathbf{N}_{i+1} = 0, \\ \mathbf{M}_i + \mathbf{M}_i^\Phi + \mathbf{r}_i \times \boldsymbol{\Phi}_i - \mathbf{P}_{i+1}^T \mathbf{M}_{i+1} - \mathbf{r}'_i \times \mathbf{P}_{i+1}^T \mathbf{N}_{i+1} = 0, \end{cases} \text{ откуда}$$

$$\begin{cases} \mathbf{N}_i = m_i \mathbf{a}_i + \mathbf{P}_{i+1}^T \mathbf{N}_{i+1}, \\ \mathbf{M}_i = \mathbf{I}_i \boldsymbol{\varepsilon}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{I}_i \boldsymbol{\omega}_i + \mathbf{r}_i \times m_i \mathbf{a}_i + \mathbf{P}_{i+1}^T \mathbf{M}_{i+1} + \mathbf{r}'_i \times \mathbf{P}_{i+1}^T \mathbf{N}_{i+1}. \end{cases} \quad M_i = G_i = \mathbf{k}^T \mathbf{M}_i.$$

Ниже приведен псевдокод функции вычисления вектора  $\mathbf{G}$ :

calcG( $\mathbf{q}, \mathbf{q}', m_i, \mathbf{r}_i, \mathbf{I}_i, \mathbf{r}'_i, \mathbf{P}_i; i = 1, \dots, n$ )

$$\boldsymbol{\omega}_0, \boldsymbol{\varepsilon}_0, \mathbf{a}'_0, \mathbf{N}, \mathbf{M} = 0;$$

for  $i = 1$  to  $n$  do **begin**  $\boldsymbol{\omega}_i = \mathbf{P}_i \boldsymbol{\omega}_{i-1} + \dot{q}_i \mathbf{k}$ ;  $\boldsymbol{\varepsilon}_i = \mathbf{P}_i \boldsymbol{\varepsilon}_{i-1} + \mathbf{P}_i \boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \dot{q}_i \mathbf{k}$ ;  
 $\mathbf{a}_i = \boldsymbol{\varepsilon}_i \times \mathbf{r}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times (\boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{r}_i) + \mathbf{P}_i \mathbf{a}'_{i-1}$ ; if  $i \neq n$  then  $\mathbf{a}'_i = \boldsymbol{\varepsilon}_i \times \mathbf{r}'_i + \boldsymbol{\omega}_i \times (\boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{r}'_i) + \mathbf{P}_i \mathbf{a}'_{i-1}$  **end**  
for  $i = n$  to 1 do **begin**  $\mathbf{M} = \mathbf{I}_i \boldsymbol{\varepsilon}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{I}_i \boldsymbol{\omega}_i + \mathbf{r}_i \times m_i \mathbf{a}_i + \mathbf{M}$ ;  $\mathbf{N} = m_i \mathbf{a}_i + \mathbf{N}$ ;  $G_i = \mathbf{k}^T \mathbf{M}$ ;  
if  $i \neq 1$  then **begin**  $\mathbf{M} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{M} + \mathbf{r}'_{i-1} \times \mathbf{P}_i^T \mathbf{N}$ ;  $\mathbf{N} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{N}$  **end** **end**

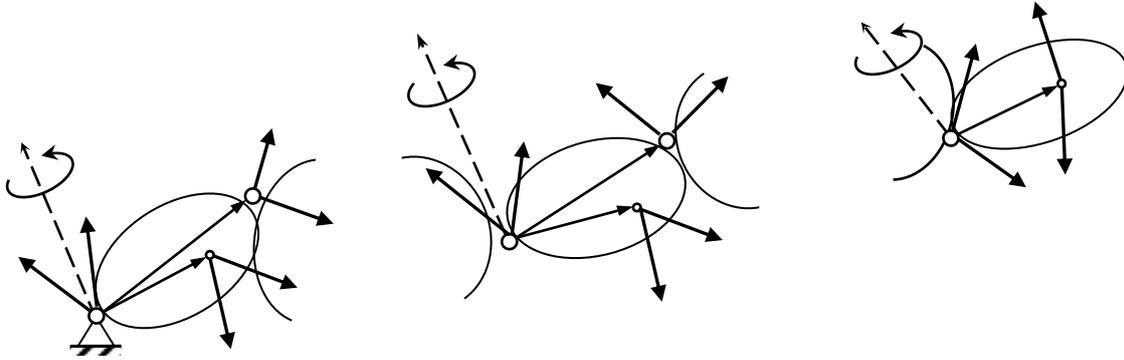


Рис. 2. Даламберовы силы  $\Phi_i$  и моменты  $M_i^\Phi$  тел системы.  $N_i$  и  $M_i$  – реактивная сила и момент, действующие на  $i$ -е тело в сочленении  $O_i$

Перейдем к вычислению матрицы инерции  $\mathbf{A}$  системы тел, представленной на рисунке 1.

Заметим, что если принять равными нулю все обобщенные скорости  $\dot{\mathbf{q}} = 0$ , а также все обобщенные ускорения, кроме одного  $\ddot{q}_j = 1$ , то система (1) принимает вид

$$A_{1j} = Q_1 = M_1, A_{2j} = Q_2 = M_2, \dots, A_{nj} = Q_n = M_n.$$

Эти равенства означают, что элементы  $j$ -го столбца матрицы  $\mathbf{A}$  численно равны приводным моментам, которые обеспечивают движение системы из состояния покоя  $\mathbf{q}$  с обобщенными ускорениями

$$\ddot{q}_1 = \dots = \ddot{q}_{j-1} = 0, \quad \ddot{q}_j = 1, \quad \ddot{q}_{j+1} = \dots = \ddot{q}_n = 0. \quad (5)$$

Характер такого движения системы тел изображен на рисунке 3: это мгновенная неподвижность всех тел, отсутствие ускорений у тел  $1, 2, \dots, j-1$  и одинаковое единичное угловое ускорение  $\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{k}$  тел  $j, j+1, \dots, n$ . При отсутствии относительных скоростей тел ( $\dot{\mathbf{q}} = 0$ ) это означает, что цепочка тел  $(j, j+1, \dots, n)$  движется как одно твердое тело (обведено штриховой линией на рисунке 3) вокруг оси  $O_j Z_j$  с единичным угловым ускорением. Теперь, решая обратную задачу динамики, можно найти моменты  $M_i = A_{ij}$ , которые будут обеспечивать условия (5). Учитывая симметричность матрицы  $\mathbf{A}$ , достаточно находить момент  $M_j$  в основании  $O_j$  цепочки и моменты  $M_{j-1}, \dots, M_1$  в сочленениях тел, не входящих в цепочку (рис. 3).

Согласно принципу Даламбера, реактивная сила  $\mathbf{N}_j^*$  и момент  $\mathbf{M}_j^*$  (рис. 3) в основании  $O_j$  цепочки  $(j, j+1, \dots, n)$  равны и противоположны главному вектору  $\Phi_j^*$  и главному моменту  $\mathbf{M}_j^{*\Phi}$  относительно центра  $O_j$  Даламберовых сил всей цепочки.

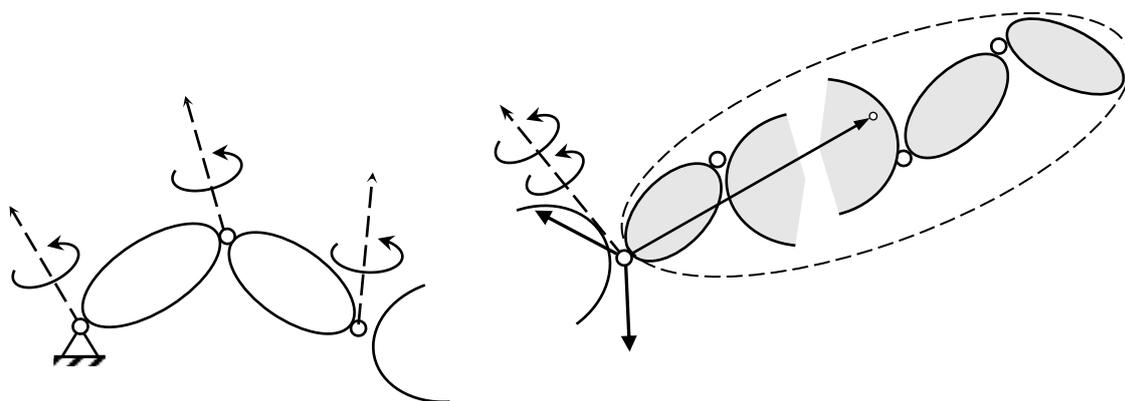


Рис. 3. Кинематический смысл условий (5) и связь приводных моментов  $M_j, \dots, M_2, M_1$  с элементами  $A_{ij}, \dots, A_{2j}, A_{1j}$   $j$ -го столбца матрицы  $A$

Так для цепочки, состоящей из одного последнего тела  $j = n$ , имеем

$$\mathbf{N}_n^* = -\Phi_n^* = m_n \boldsymbol{\varepsilon} \times \mathbf{r}_n = m_n \mathbf{k} \times \mathbf{r}_n, \quad \mathbf{M}_n^* = -\mathbf{M}_n^{*\Phi} = \mathbf{I}_n^* \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{I}'_n \mathbf{k}, \quad A_{nn} = M_n = \mathbf{k}^T \mathbf{M}_n^* = \mathbf{k}^T \mathbf{I}'_n \mathbf{k}$$

где  $\mathbf{I}'_n = \mathbf{I}_n + m_n T(\mathbf{r}_n)$  – матрица инерции тела  $n$  в точке  $O_n$  в осях  $X_n, Y_n, Z_n$ ;

$$T(\mathbf{r}_n) = \begin{pmatrix} y_n^2 + z_n^2 & -x_n y_n & -x_n z_n \\ -x_n y_n & x_n^2 + z_n^2 & -y_n z_n \\ -x_n z_n & -y_n z_n & x_n^2 + y_n^2 \end{pmatrix}.$$

Для цепочки тел  $(j, j+1, \dots, n)$  при  $j < n$  подобным же образом получаем

$$\mathbf{N}_j^* = m_j^* \mathbf{k} \times \mathbf{r}_j^*, \quad \mathbf{M}_j^* = \mathbf{I}_j^* \mathbf{k}, \quad A_{jj} = M_j = \mathbf{k}^T \mathbf{M}_j^* = \mathbf{k}^T \mathbf{I}_j^* \mathbf{k}, \quad (6)$$

где  $m_j^*$  – масса, а  $\mathbf{r}_j^*$  и  $\mathbf{I}_j^*$  – радиус-вектор центра масс  $C_j^*$  и матрица инерции всей цепочки  $(j, j+1, \dots, n)$  в осях  $O_j X_j Y_j Z_j$ .

Величины  $m_j^*, \mathbf{r}_j^*, \mathbf{I}_j^*$  вычисляются рекурсивно:

$$m_n^* = m_n, \quad \mathbf{r}_n^* = \mathbf{r}_n, \quad \mathbf{I}_n^* = \mathbf{I}_n, \quad m_j^* = m_{j+1}^* + m_j, \quad \mathbf{r}_j^* = [m_j \mathbf{r}_j + m_{j+1}^* (\mathbf{r}_j' + \mathbf{P}_{j+1}^T \mathbf{r}_{j+1}^*)] / m_j^*,$$

$$\mathbf{I}_j^* = \mathbf{I}_j + \mathbf{P}_{j+1}^T [\mathbf{I}_{j+1}^* - m_{j+1}^* T(\mathbf{r}_{j+1}^*)] \mathbf{P}_{j+1} + m_{j+1}^* T(\mathbf{r}_j' + \mathbf{P}_{j+1}^T \mathbf{r}_{j+1}^*),$$

где  $\mathbf{I}_j = \mathbf{I}_j + m_j T(\mathbf{r}_j)$  – матрица инерции тела  $j$  в осях  $O_j, X_j, Y_j, Z_j$ .

Реактивные силы и моменты в сочленениях тех тел  $j-1, j-2, \dots, 1$ , которые не входят в цепочку и имеют нулевые скорости и ускорения, также определяются рекурсивно:

$$\mathbf{N}_{i-1} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{N}_i, \quad \mathbf{M}_{i-1} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{M}_i + \mathbf{r}'_{i-1} \times \mathbf{P}_i^T \mathbf{N}_i, \quad A_{ij} = \mathbf{k}^T \mathbf{M}_i,$$

где  $i \leq j$ , причем  $\mathbf{N}_j = \mathbf{N}_j^*$  и  $\mathbf{M}_j = \mathbf{M}_j^*$  уже определены в (6).

Ниже приведен псевдокод функции вычисления элементов матрицы  $A$ :

calcA( $\mathbf{q}, m_i, \mathbf{r}_i, \mathbf{r}'_i, \mathbf{I}_i, \mathbf{P}_i; i = 1, \dots, n$ )

for  $i = 1$  to  $n$  do  $\mathbf{I}'_i = \mathbf{I}_i + m_i T(\mathbf{r}_i); m_n^* = m_n; \mathbf{r}_n^* = \mathbf{r}_n; \mathbf{I}_n^* = \mathbf{I}_n;$

for  $j = n$  to 1 do begin

```

if  $j \neq 1$  then begin  $\mathbf{I}_{j-1}^* = \mathbf{I}'_{j-1} + \mathbf{P}_j^T [\mathbf{I}_j^* - m_j^* T(\mathbf{r}_j^*)] \mathbf{P}_j + m_j^* T(\mathbf{r}'_{j-1} + \mathbf{P}_j^T \mathbf{r}_j^*)$ ;  $m_{j-1}^* = m_j^* + m_{j-1}$ ;
 $\mathbf{r}_{j-1}^* = [m_{j-1} \mathbf{r}_{j-1} + m_j^* (\mathbf{r}'_{j-1} + \mathbf{P}_j^T \mathbf{r}_j^*)] / m_{j-1}^*$  end  $\mathbf{L} = \mathbf{I}_j^* \mathbf{k}$ ;  $\mathbf{R} = m_j^* \mathbf{k} \times \mathbf{r}_j^*$ ;  $A_{jj} = \mathbf{k}^T \mathbf{L}$ ;  $i = j$ ;
while  $i \neq 1$  do begin  $\mathbf{R} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{R}$ ;  $\mathbf{L} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{L} + \mathbf{r}'_{i-1} \times \mathbf{R}$ ;  $i = i - 1$ ;  $A_{ij} = \mathbf{k}^T \mathbf{L}$ ;  $A_{ji} = A_{ij}$  end
end

```

Завершив формирование левых частей дифференциальных уравнений системы (1), следует определить вектор реальных обобщенных сил, обусловленных действием приводных двигателей, гравитации, трения, и т.п. Принцип независимости действия физических сил и их линейная связь с обобщенными приводит к аддитивности, т.е. позволяет вычислять по отдельности и складывать обобщенные силы, обусловленные различными перечисленными факторами.

Для вычисления обобщенных сил, обусловленных гравитацией, обычно используют рекурсивный алгоритм, подобный calcG, полагая, что основание  $O_1$  движется с ускорением  $-\mathbf{g}$ , а  $\dot{\mathbf{q}} = \ddot{\mathbf{q}} = 0$ . Приведем соответствующий псевдокод:

```

calcQg( $\mathbf{g}$ ,  $\mathbf{q}$ ,  $m_i$ ,  $\mathbf{r}_i$ ,  $\mathbf{r}'_i$ ,  $\mathbf{P}_i$ ;  $i = 1, \dots, n$ )
 $\mathbf{N}, \mathbf{M} = 0$ ;  $\mathbf{z} = -\mathbf{g}$ ; for  $i = 1$  to  $n$  do begin  $\mathbf{z} = \mathbf{P}_i \mathbf{z}$ ;  $\mathbf{a}_i = \mathbf{z}$  end
for  $i = n$  to 1 do begin  $\mathbf{M} = \mathbf{r}_i \times m_i \mathbf{a}_i + \mathbf{M}$ ;  $\mathbf{N} = m_i \mathbf{a}_i + \mathbf{N}$ ;  $Q_i = -\mathbf{k}^T \mathbf{M}$ ;
if  $i \neq 1$  then begin  $\mathbf{M} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{M} + \mathbf{r}'_{i-1} \times \mathbf{P}_i^T \mathbf{N}$ ;  $\mathbf{N} = \mathbf{P}_i^T \mathbf{N}$  end end

```

После того как найдены числовые значения всех коэффициентов системы дифференциальных уравнений (1), т.е. все компоненты матрицы  $\mathbf{A}$ , векторов  $\mathbf{G}$  и  $\mathbf{Q}$ , можно выразить обобщенные ускорения в виде  $\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{A}(\mathbf{q})^{-1} [\mathbf{Q}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t) - \mathbf{G}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})] = \mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t)$ .

**Программная реализация.** Описанные выше алгоритмы и функции легко встраиваются в конечно-разностную схему интегрирования системы (1) при использовании любого явного метода, например Рунге-Кутты. Эти алгоритмы исключают использование громоздких аналитических выражений [5] для коэффициентов системы (1).

Реализация описанных алгоритмов выполнялась средствами программирования пакета Mathcad 7.0. На рисунке 5 демонстрируется результат численного моделирования движения плоского шарнирного пятизвенника под действием сил тяжести. Звенья – однородные стержни длиной 0,4 м. Фиксированный временной шаг интегрирования 0,01 с, время счета составляет 0,52 реального времени (AMD Athlon 64X2 Duai Core 6400+).

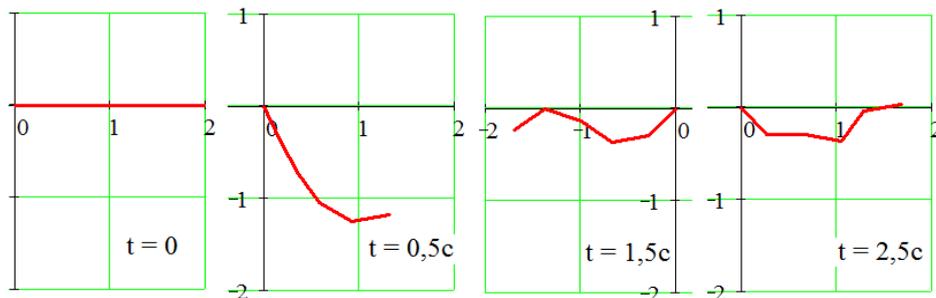


Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования свободного движения плоского пятизвенника

## **Выводы**

1. Описана методика формирования динамических уравнений системы шарнирно сочлененных твердых тел на основе принципа Даламбера и рекурсивных алгоритмов обратной динамики.
2. Программная реализация и апробация предложенных алгоритмов подтверждает их эффективность в динамическом моделировании многотельных систем.

## *Список литературы*

1. Белоусов И. Р. Формирование уравнений динамики роботов-манипуляторов. Препринт ИПМ РАН № 45. 2002. 28 с.
2. Featherstone R. Rigid body dynamics algorithms. Springer Science+Business Media, 2008. 272 с.
3. Springer handbook of robotics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. С. 35-62.
4. Дронг В. И., Дубинин В. В., Ильин М. М. Курс теоретической механики. М.: Изд-во МВТУ им.Баумана, 2005. С. 531-532.
5. Журавлев Е. А., Багаутдинов И. Н. Символьные вычисления в компьютерном моделировании динамики пространственного манипулятора // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. С. 152-157.

## **REALIZATION OF RECURSIVE DYNAMICS ALGORITHMS FOR MECHANISMS WITH LINEAR KINEMATIC STRUCTURE**

*Zhuravlev Evgeniy Alekseyevich*

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

*Dynamics differential equations of multibody system with linear structure and rotatory joints are formed using recursive algorithms for inverse dynamics. The kinetostatic interpretation of the "articulated body" algorithm used to calculate the inertia matrix of this mechanism. The pseudo-codes of the algorithms used and the result of their computer implementation are given*

**Keywords:** *system of solids, linear kinematic structure, rotational joints, direct dynamics problem, inverse dynamics recursive algorithms, computer realization.*

УДК 519.71

## **МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ СЛУЧАЙНОГО БЛУЖДЕНИЯ В ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДЕ**

*Костромин Геннадий Яковлевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
KostrominGY@volgatech.net

*Рассмотрено случайное блуждание в параллелепипеде по целочисленным точкам  $n$ -мерной решетки. Получены формулы для вычисления моментов времени случайного блуждания в параллелепипеде.*

**Ключевые слова:** *случайное блуждание, вероятность, частица, шаг, характеристическая функция.*

**Введение.** Для случайного блуждания частицы в параллелепипеде по целочисленным точкам  $n$ -мерной решетки получена [1] формула вероятности поглощения на границе параллелепипеда блуждающей частицы на  $N$ -м шаге. Используя вероятность поглощения можно найти начальные и центральные моменты времени блуждания в параллелепипеде.

**Цель работы** – для случайного блуждания частицы в параллелепипеде по целочисленным точкам  $n$ -мерной решетки получить формулы для вычисления моментов времени блуждания.

**Решаемые задачи:** 1) нахождение характеристической функции времени случайного блуждания в параллелепипеде; 2) получение формул для вычисления начальных и центральных моментов времени блуждания в параллелепипеде.

**Математическое моделирование.** Рассмотрено случайное блуждание частицы по целочисленным точкам  $n$ -мерной решетки. На каждом шаге блуждания частица из точки  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$  с вероятностью  $p_j$  переходит в точку  $(x_1, x_2, \dots, x_{j-1}, x_j + 1, x_{j+1}, \dots, x_n)$ , с вероятностью  $q_j$  – в точку  $(x_1, x_2, \dots, x_{j-1}, x_j - 1, x_{j+1}, \dots, x_n)$  и с вероятностью  $r$  остается

в точке  $X$ . Выполняются условия  $p_j > 0, q_j > 0, j = 1, 2, \dots, n, \sum_{j=1}^n (p_j + q_j) + r = 1$ . Областью блуждания является параллелепипед  $0 \leq x_1 \leq R_1, 0 \leq x_2 \leq R_2, \dots, 0 \leq x_n \leq R_n$ , где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – целые положительные числа.

Рассмотрено случайное блуждание с поглощением в граничных точках параллелепипеда. Пусть  $T_n$  – число шагов блуждающей частицы до поглощения на границе параллелепипеда при старте из внутренней точки  $(m_1, m_2, \dots, m_n)$ .

Вероятность того, что на  $N$ -м шаге частица будет поглощена [1], равна

$$P(T_n = N) = \frac{2^n}{\prod_{k=1}^n R_k} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{l_1=1}^{R_1-1} \dots \sum_{l_n=1}^{R_n-1} \left( \prod_{s=1}^n \sin \frac{m_s \pi l_s}{R_s} \right) \times B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) \cdot d^{N-1}(l_1, l_2, \dots, l_n) \right], \quad (1)$$

где

$$B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) = \left( p_j \left( \frac{p_j}{q_j} \right)^{\frac{R_j-1-m_j}{2}} \sin \frac{(R_j-1)\pi l_j}{R_j} + q_j \left( \frac{p_j}{q_j} \right)^{\frac{1-m_j}{2}} \sin \frac{\pi l_j}{R_j} \right) \times \left( \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \left( \sum_{a_i=1}^{R_i-1} \left( \frac{p_i}{q_i} \right)^{\frac{a_i-m_i}{2}} \sin \frac{a_i \pi l_i}{R_i} \right) \right), \quad (2)$$

$$d(l_1, l_2, \dots, l_n) = r + 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{p_i q_i} \cos \frac{\pi l_i}{R_i}. \quad (3)$$

Покажем, что имеет место неравенство

$$|d(l_1, l_2, \dots, l_n)| < 1. \quad (4)$$

В самом деле, так как  $\sqrt{p_i q_i} \leq \frac{p_i + q_i}{2}$  и  $\left| \cos \frac{\pi l_i}{R_i} \right| < 1$  при  $l_i = 1, 2, \dots, R_i - 1$ , получаем

$$|d(l_1, l_2, \dots, l_n)| \leq r + 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{p_i q_i} \left| \cos \frac{\pi l_i}{R_i} \right| < r + 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{p_i q_i} \leq r + \sum_{i=1}^n (p_i + q_i) = 1.$$

Поскольку случайная величина  $T_n$  принимает только целые положительные значения, то ее производящая функция равна сумме ряда

$$\varphi(s) = \sum_{N=1}^{\infty} s^N P(T_n = N),$$

который сходится абсолютно при  $|s| \leq 1$ .

Поэтому, используя формулу (1), имеем

$$\varphi(s) = \frac{2^n}{\prod_{k=1}^n R_k} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{l_1=1}^{R_1-1} \dots \sum_{l_n=1}^{R_n-1} \left( \prod_{s=1}^n \sin \frac{m_s \pi l_s}{R_s} \right) \cdot B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) \times \sum_{N=1}^{\infty} s^N d^{N-1}(l_1, l_2, \dots, l_n) \right].$$

После преобразований окончательно получаем

$$\varphi(s) = \frac{2^n}{\prod_{k=1}^n R_k} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{l_1=1}^{R_1-1} \dots \sum_{l_n=1}^{R_n-1} \left( \prod_{s=1}^n \sin \frac{m_s \pi l_s}{R_s} \right) \cdot B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) \times s(1 - sd(l_1, l_2, \dots, l_n))^{-1} \right]. \quad (5)$$

Обозначим характеристическую функцию случайной величины  $T_n$  через  $f_1(t)$ .

Для целочисленной случайной величины  $T_n$  имеет место формула [2]

$$f_1(t) = \varphi(e^{it}), \quad (6)$$

где  $i$  – мнимая единица.

Используя формулы (5) и (6), находим

$$f_1(t) = \frac{2^n}{\prod_{k=1}^n R_k} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{l_1=1}^{R_1-1} \dots \sum_{l_n=1}^{R_n-1} \left( \prod_{s=1}^n \sin \frac{m_s \pi l_s}{R_s} \right) \cdot B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) \times g(t, l_1, l_2, \dots, l_n) \right], \quad (7)$$

где

$$g(t, l_1, l_2, \dots, l_n) = e^{it} (1 - d(l_1, l_2, \dots, l_n) \cdot e^{it})^{-1}. \quad (8)$$

Начальный момент  $k$ -го порядка случайной величины  $T_n$  равен сумме ряда

$$M(T_n^k) = \sum_{N=1}^{\infty} N^k P(T_n = N), \quad (9)$$

где вероятность  $P(T_n = N)$  определяется формулой (1). Ряд (9) сходится абсолютно, так как имеет место неравенство (4).

В книге [2] показано, что если  $M(X^k)$  конечно ( $k \geq 1$ ), то

$$f^{(k)}(0) = i^k M(X^k), \quad (10)$$

где  $f(t)$  – характеристическая функция случайной величины  $X$ .

Поэтому, используя формулы (7) и (10), получаем

$$M(T_n^k) = \frac{2^n}{\prod_{l=1}^n R_l} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{l_1=1}^{R_1-1} \dots \sum_{l_n=1}^{R_n-1} \left( \prod_{s=1}^n \sin \frac{m_s \pi l_s}{R_s} \right) \cdot B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) \cdot g^{(k)}(0, l_1, l_2, \dots, l_n) \right]. \quad (11)$$

При  $k = 1, 2, 3$  получаем соответственно

$$g^I(0, l_1, l_2, \dots, l_n) = \frac{1}{[1 - d(l_1, l_2, \dots, l_n)]^2},$$

$$g^{II}(0, l_1, l_2, \dots, l_n) = \frac{1 + d(l_1, l_2, \dots, l_n)}{[1 - d(l_1, l_2, \dots, l_n)]^3}, \quad (12)$$

$$g^{III}(0, l_1, l_2, \dots, l_n) = \frac{1 + 4d(l_1, l_2, \dots, l_n) + d^2(l_1, l_2, \dots, l_n)}{[1 - d(l_1, l_2, \dots, l_n)]^4}.$$

Пусть  $f_2(t)$  – характеристическая функция случайной величины  $(T_n - a)$ , где  $a = M(T_n)$ . В [3] доказано, что если  $Y = cX + b$ , где  $c$  и  $b$  константы, то

$$f_Y(t) = e^{itb} f_X(ct), \quad (13)$$

где  $f_X(t)$  и  $f_Y(t)$  характеристические функции случайных величин  $X$  и  $Y$ .

Поэтому, используя формулы (7) и (13), имеем

$$f_2(t) = \frac{2^n}{\prod_{k=1}^n R_k} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{l_1=1}^{R_1-1} \dots \sum_{l_n=1}^{R_n-1} \left( \prod_{s=1}^n \sin \frac{m_s \pi l_s}{R_s} \right) \cdot B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) \cdot h(t, l_1, l_2, \dots, l_n) \right], \quad (14)$$

где  $h(t, l_1, l_2, \dots, l_n) = \frac{e^{i(1-a)t}}{1 - d(l_1, l_2, \dots, l_n) \cdot e^{it}}$ .

Центральный момент  $k$ -го порядка случайной величины  $T_n$  определяется суммой ряда

$$M[(T_n - a)^k] = \sum_{N=1}^{\infty} (N - a)^k P(T_n = N),$$

который абсолютно сходится, так как имеет место неравенство (4). Тогда, поскольку  $M[(T_n - a)^k]$  конечно, применяя формулы (10) и (14), находим

$$M[(T_n - a)^k] = \frac{2^n}{\prod_{l=1}^n R_l} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{l_1=1}^{R_1-1} \dots \sum_{l_n=1}^{R_n-1} \left( \prod_{s=1}^n \sin \frac{m_s \pi l_s}{R_s} \right) \cdot B_j(l_1, l_2, \dots, l_n) \cdot h^{(k)}(0, l_1, l_2, \dots, l_n) \right]. \quad (15)$$

В частности,

$$h''(0, l_1, l_2, \dots, l_n) = \frac{(1-a)^2 + d(l_1, \dots, l_n) \cdot (1+2a-2a^2) + d^2(l_1, l_2, \dots, l_n) \cdot a^2}{[1-d(l_1, l_2, \dots, l_n)]^3}. \quad (16)$$

Приведем два примера, иллюстрирующие полученные формулы.

### Пример 1

Рассматриваем случайное блуждание при  $n=2$ ,  $R_i=3$ ,  $p_i = \frac{1}{4}$ ,  $q_i = \frac{1}{4}$ ,  $i=1, 2$ ,  $r=0$ ,  $m_1=1$ ,  $m_2=1$ . Определить моменты  $M(T_2)$ ,  $M(T_2^2)$  и  $M[(T_2 - a)^2]$ , где  $a = M(T_2)$ .

Используя формулы (11) и (12), имеем

$$\begin{aligned} M(T_2) &= \frac{4}{9} \left( \sum_{l_1=1}^2 \sum_{l_2=1}^2 \sin \frac{\pi l_1}{3} \sin \frac{\pi l_2}{3} \left( \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi l_1}{3} + \frac{1}{4} \sin \frac{\pi l_1}{3} \right) \left( \sin \frac{\pi l_2}{3} + \sin \frac{2\pi l_2}{3} \right) \right) \times \\ &\times \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \cos \frac{\pi l_1}{3} + \cos \frac{\pi l_2}{3} \right) \right]^{-2} + \sum_{l_1=1}^2 \sum_{l_2=1}^2 \sin \frac{\pi l_1}{3} \sin \frac{\pi l_2}{3} \left( \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi l_2}{3} + \frac{1}{4} \sin \frac{\pi l_2}{3} \right) \cdot \left( \sin \frac{\pi l_1}{3} + \sin \frac{2\pi l_1}{3} \right) \times \\ &\times \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \cos \frac{\pi l_1}{3} + \cos \frac{\pi l_2}{3} \right) \right]^{-2}. \end{aligned}$$

Поскольку  $\sin \frac{4\pi}{3} + \sin \frac{2\pi}{3} = 0$ , то в каждой двойной сумме не равны нулю только слагаемые при  $l_1=1$  и  $l_2=1$ .

Тогда

$$M(T_2) = \frac{2}{9} \sin^2 \frac{\pi}{3} \left( \sin \frac{2\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3} \right)^2 \left( 1 - \cos \frac{\pi}{3} \right)^{-2} = \frac{2}{9} \cdot \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 4 = 2.$$

Аналогично,

$$M(T_2^2) = \frac{2}{9} \sin^2 \frac{\pi}{3} \left( \sin \frac{2\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3} \right)^2 \frac{1 + \cos \frac{\pi}{3}}{\left(1 - \cos \frac{\pi}{3}\right)^3} = \frac{2}{9} \cdot \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 12 = 6.$$

Используя формулы (15) и (16), находим

$$M[(T_2 - a)^2] = \frac{2}{9} \sin^2 \frac{\pi}{3} \left( \sin \frac{2\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3} \right)^2 \cdot h''(0, 1, 1) = \frac{2}{9} \cdot \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 4 = 2.$$

### Пример 2

Рассмотрим случайное блуждание при  $r > 0$ ,  $R_i = 2$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Случайная величина  $T_n$  – время выхода блуждающей частицы из внутренней точки  $(1, 1, \dots, 1)$  на границу. Найти моменты  $M(T_n)$ ,  $M(T_n^2)$  и дисперсию случайной величины  $T_n$ .

Используя формулы (3), (11), (12), (15) и (16), определяем

$$M(T_n) = \sum_{j=1}^n (p_j + q_j) \cdot (1-r)^{-2} = \frac{1}{(1-r)^2} \sum_{j=1}^n (p_j + q_j) = \frac{1}{(1-r)^2} (1-r) = \frac{1}{1-r},$$

$$M(T_n^2) = \sum_{j=1}^n (p_j + q_j) \cdot g''(0, 1, 1, \dots, 1) = (1-r) \cdot \frac{1+r}{(1-r)^3} = \frac{1+r}{(1-r)^2},$$

$$D(T_n) = M\left[\left(T_n - \frac{1}{1-r}\right)^2\right] = \sum_{j=1}^n (p_j + q_j) \cdot h''(0, 1, 1, \dots, 1) = (1-r) \cdot \frac{r}{(1-r)^3} = \frac{r}{(1-r)^2}.$$

**Вывод.** Для случайного блуждания частицы в параллелепипеде по целочисленным точкам  $n$ -мерной решетки получены формулы для вычисления моментов времени случайного блуждания.

#### Список литературы

1. Костромин Г. Я. Математическое ожидание числа шагов выхода блуждающей частицы на границу параллелепипеда // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2016. № 4. С. 192-196.
2. Севастьянов Б. А. Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1982. 255 с.
3. Чистяков В. П. Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1982. 255 с.

#### MOMENTS OF TIME OF A RANDOM WALK IN PARALLELEPIPED

*Kostromin Gennadiy Yakovlevich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*A random walk in a parallelepiped of integer points of an  $n$ -dimensional lattice is considered. Formulas for calculating the moments of time of a random walk and a parallelepiped are obtained.*

**Keywords:** random walk, probability, particle, step, characteristic function.

УДК 544.723:539.143.43

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ МОЛЕКУЛ ВОДЫ НА МИНЕРАЛЬНЫХ АДСОРБЕНТАХ ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ ЯМР

<sup>1</sup>Ладычук Дмитрий Владимирович, <sup>1</sup>Гогелашвили Гоча Шотаевич,  
<sup>2</sup>Хозин Вадим Григорьевич, <sup>3</sup>Хозина Елена Вадимовна

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань

<sup>3</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва

LadychukDV@volgatech.net

*Физико-химические методы анализа использованы для исследования системы минеральный адсорбент – вода. По данным метода ЯМР установлена взаимосвязь между временами спин-спиновой и спин-решеточной релаксации и состоянием адсорбированных молекул воды. Сорбционным методом определены структурные и адсорбционные характеристики исследованных материалов.*

**Ключевые слова:** адсорбция, силикат, микромрамор, ядерный магнитный резонанс, магнитная релаксация

**Введение.** В последнее время минеральные адсорбенты находят все большее применение во многих отраслях промышленности; в частности, силикаты и мрамор используются в строительстве. Силикатное стекло – твердый прозрачный материал  $\text{Na}_2\text{CaSi}_6\text{O}_{14}$ , выплавляемый из известняка, песка и соды в печах при температуре от 300 до 2500 °С. Различные добавки изменяют его характеристики, такие как цвет, плотность, модули упругости и сдвига, показатели твердости и хрупкости. Размол материала проводится в мельницах тонкого помола с последующим разделением на фракции размером зерен 500-1000 мкм. Микромрамор – форма микрокальцита  $\text{CaCO}_3$  – получается путем измельчения мрамора, подразделяется на фракции с размером зерен 2-500 мкм. Микрокальцит является химически нейтральным и негорючим материалом, имеет низкие показатели водопоглощения, отличается высокими оптическими свойствами, маслоемкостью и прочностью зерен, что позволяет использовать его практически во всех производствах. Адсорбционный метод и импульсный метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) относятся к группе неразрушающих физических методов, отличающихся широкой информативностью и экспрессностью. С их помощью можно исследовать структуру и свойства адсорбента и адсорбата, а также определять их физико-химические характеристики.

**Цель работы** – установление взаимосвязи между характеристиками структуры исследуемых материалов и физико-химическими свойствами сорбированной воды.

**Решаемые задачи:** 1) анализ системы *минеральный адсорбент – сорбированная вода*; 2) установление взаимосвязи между параметрами ЯМР-релаксации сорбированной воды и структурными и сорбционными характеристиками керамических материалов.

**Техника эксперимента и методика обработки результатов.** Изучены 4 образца минеральных адсорбентов (МА). Их структурные характеристики определялись на основании анализа экспериментальных изотерм адсорбции (ИА) паров воды при 298 К. Для ЯМР-исследований образцы (объемом около  $0,8 \text{ см}^3$ ) в измерительных ампулах насыщались влагой в течение 2-х недель изопиестическим методом до достижения равновесия. Заполнение всех пор водой достигалось при выдерживании образцов в насыщенных парах воды. Измерение параметров ЯМР-релаксации протонов сорбированной воды проводилось на спектрометре с рабочей частотой 20 МГц по стандартным методикам [1]. Для анализа экспериментальных данных применялась компьютерная математическая программа Origin 6.1.

**Интерпретация результатов.** Адсорбцию паров веществ на поверхности материалов описывают различные теории [2]. В частности, теория Ленгмюра основана на представлениях об образовании одного сплошного адсорбционного слоя на поверхности адсорбента. В теории Брунауэра-Эммета-Теллера ленгмюровские представления расширены и перенесены на образование нескольких слоев адсорбата и дополнены процессом капиллярной конденсации. В рамках теоретических моделей из линеаризованных форм уравнений, связывающих величины сорбции ( $a$ ) и относительные давления паров адсорбтива ( $p/p_s$ ) можно определить сорбционные ( $w_m, w_s, b, N$ ) и структурные ( $S_{уд}, l$ ) параметры адсорбента и адсорбата.

Полученные ИА паров воды на изученных МА (рис. 1) имеют форму, промежуточную между II и III типами по классификации Брунауэра, характерную для адсорбции на непористых и макропористых адсорбентах [2]. С одной стороны, на изотермах имеется едва заметная точка перегиба при  $p/p_s = 0,05 \dots 0,10$ , что свидетельствует о принадлежности ИА ко II типу. В то же время вогнутость к оси ординат позволяет отнести их к III типу изотерм. Очевидно, что вода является веществом с особыми сорбционными свойствами и механизмом взаимодействия с поверхностью адсорбента, отличающимся от других адсорбтивов (бензол, азот, алканы).

Величины адсорбции паров воды очень малы, все ИА практически параллельны друг другу в широком диапазоне ( $p/p_s = 0,05 \dots 0,85$ ), лишь в области высоких относительных давлений адсорбтива наблюдается подъем ИА для силикатного стекла. Одинаковый ход изотерм для микрораморов можно объяснить сходством химической структуры образцов. Небольшие отличия в величинах адсорбции свидетельствуют о небольшой разнице в величинах удельной поверхности и размерах частиц материалов. Оба указанных параметра зависят от технологических условий производства. В частности, большую роль играет степень помола, которая влияет на диспергируемость веществ. Все изученные микрораморы являются гидрофобными материалами, поскольку карбонат кальция практически нерастворим в воде, и поэтому взаимодействие между адсорбентом и адсорбатом в системе *микрорамор – вода* очень мало. Наличие ионов натрия и кремния в структуре силиката приводит к небольшому разрыхлению структуры поверхности и задает некоторую ее гидрофильность, что приводит к наблюдаемому росту величины адсорбции при  $p/p_s > 0,95$ . Поскольку значение константы БЭТ ( $C$ ) для

изученных систем мало ( $C < 2$ ), для расчета адсорбционных и структурных характеристик использовалось уравнение Ленгмюра. Результаты расчетов представлены в таблице.

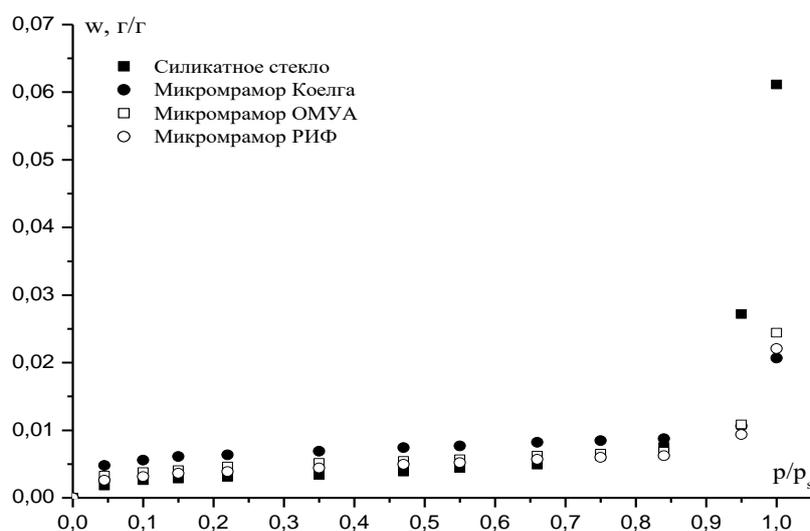


Рис. 1. Изотермы адсорбции паров воды для исследованных материалов при 298 К

Адсорбционные и структурные характеристики исследованных материалов, рассчитанные по изотермам адсорбции паров воды при 298 К

Образец	$b$	$w_m$ , Г/Г	$w_s$ , Г/Г	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /Г	$l$ , нм	$N$
Силикатное стекло	27,3	0,0028	0,0611	9,8	226	21,8
Микрорамор Коелга	1,5	0,0075	0,0207	26,4	84	2,8
Микрорамор ОМУА	2,3	0,0047	0,0244	16,6	133	5,2
Микрорамор РИФ	23,3	0,0036	0,0221	12,6	176	6,1

Примечание.  $w_m$  – емкость монослоя;  $w_s$  – предельная величина адсорбции;  $b$  – энергетическая константа;  $S_{уд}$  – удельная поверхность;  $l$  – средний размер частиц;  $N$  – число адсорбционных слоев

Расчет указанных параметров осуществлен с использованием ряда формул

$$S_{уд} = 3500 \cdot w_m, \quad (1)$$

$$l = \frac{2,22 \cdot 10^{-6}}{S_{уд}}. \quad (2)$$

Метод ЯМР может использоваться для оценки подвижности молекул воды, связанных с поверхностью адсорбента, и молекул воды, находящихся в последующих слоях [3]. На рисунке 2 представлены зависимости времен спин-спиновой релаксации ( $T_2$ ) протонов сорбированной воды от величины сорбции ( $w$ ) для системы *исследованный материал – вода*, имеющие характерный выпуклый вид. Так как величина  $T_2$  характеризует подвижность молекул сорбированной воды, можно сказать, что приблизительно до 15 % влажности (50-60 слоев молекул воды) от слоя к слою подвижность растет. При дальнейшем росте числа сорбционных слоев вследствие значительного расстояния от поверхности сорбента сорбционный потенциал незначителен и мало влияет на по-

движность молекул воды. Разница в величинах  $T_2$  невелика, она определяется значениями удельной поверхности и размером частиц материалов.

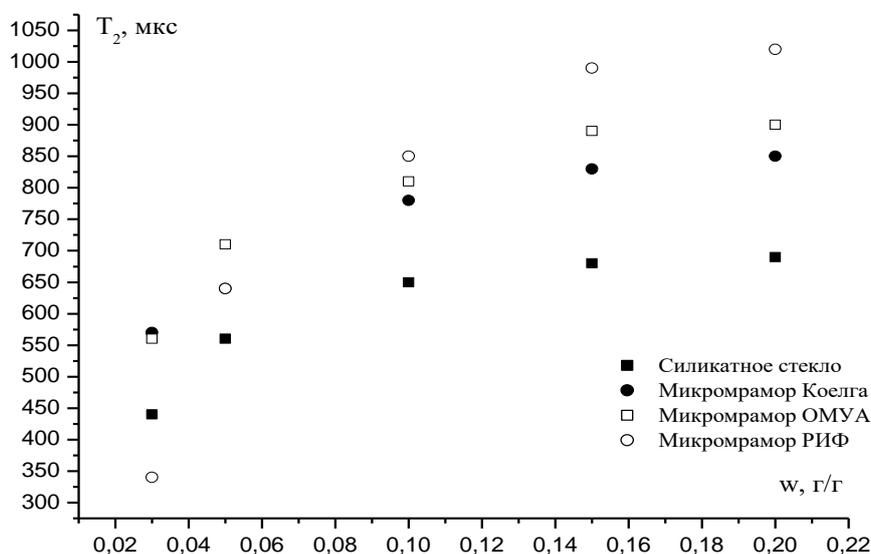


Рис. 2. Зависимости времен спин-спиновой релаксации ( $T_2$ ) протонов сорбированной воды от величины сорбции ( $w$ ) для системы *исследованный материал – вода*

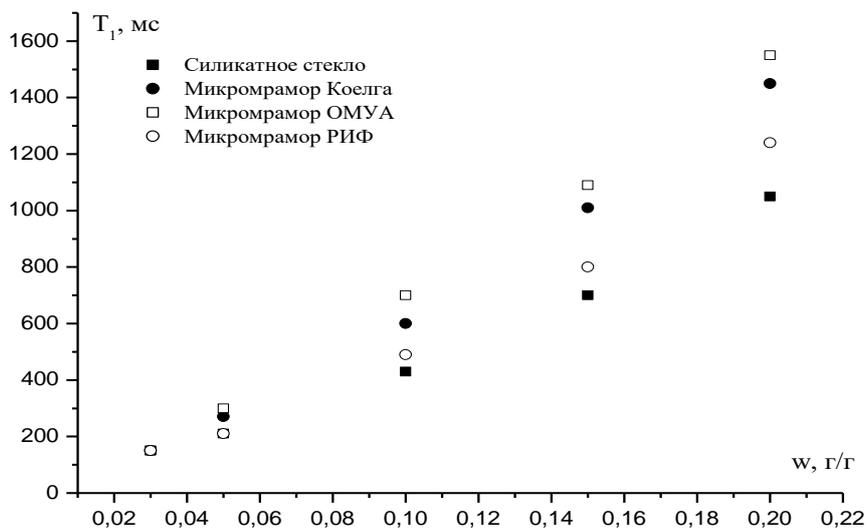


Рис. 3. Зависимости времен спин-решеточной релаксации ( $T_1$ ) протонов сорбированной воды от величины сорбции ( $w$ ) для системы *исследованный материал – вода*

Зависимости времен спин-решеточной релаксации ( $T_1$ ) сорбированной воды от величины сорбции воды ( $w$ ) для систем *исследованный материал – вода* (рис. 3) имеют линейный характер. Как и в случае со временами  $T_2$ , значения  $T_1$  зависят от структурных и адсорбционных характеристик исследуемых материалов. Очевидно, адсорбция молекул воды происходит на отдельных поверхностных активных центрах и структурных дефектах поверхности с образованием кластеров из молекул воды [3, 4], поэтому с ростом величины сорбции растет и резервуар спиновой намагниченности, а количество

центров стока намагниченности на поверхности сорбента не меняется, следовательно, растет и время стока намагниченности.

### **Выводы**

1. Анализ изотерм адсорбции показал, что структурные и сорбционные параметры исследованных материалов мало отличаются друг от друга, химический состав веществ обуславливает небольшую разницу в их значениях.

2. Методом импульсного ЯМР установлено, что характер зависимостей времен релаксации от влажности определяет подобие механизмов адсорбционного взаимодействия в системе *адсорбент – адсорбат* для исследованных материалов.

### *Список литературы*

1. Вашман А. А., Пронин И. С. Ядерная магнитная релаксационная спектроскопия. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984.
3. Гогелашвили Г.Ш., Вартапетян Р.Ш., Ладычук Д.В., Грунин Ю.Б., Хозина Е.В. // Коллоидный журнал. 2003. Т. 65, № 5. С. 595-602.
4. Рахматкариев Г. У., Исирикян А. А. // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1988. № 11. С. 2644-2645.

### **RESEARCH OF ADSORPTION OF MOLECULES OF WATER ON MINERAL ADSORBENTS BY MAGNETIC RESONANCE PULSE METHOD**

<sup>1</sup>*Ladychuk Dmitry Vladimirovich, <sup>1</sup>Gogelashvili Gocha Shotaevich,*  
<sup>2</sup>*Khozin Vadim Grigorievich, <sup>3</sup>Khozina Elena Vadimovna*

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

<sup>2</sup>Kazan State University of Architecture and Construction, Kazan

<sup>3</sup>Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Science, Moscow

*Methods of physico-chemical analysis are used for a research of systems mineral adsorbents - water. According to the NMR method, the relationship between the spin-spin and spin-lattice relaxation times and the state of adsorbed water molecules is established. The structural and adsorption parameters of the studied materials are determined by the sorption method.*

**Keywords:** *adsorption, micromarble, silicate, nuclear magnetic resonance, magnetic relaxation*

УДК 504.3.054

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ**

***Скорикова Любовь Александровна***

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технический университет», г. Йошкар-Ола  
SkorikovaLA@volgatech.net

*Приведены результаты анализа качественного состава атмосферного воздуха в Республике Марий Эл. Оценен уровень загрязнения атмосферного воздуха, выявлены основные загрязняющие вещества, характерные для Республики Марий Эл, проанализированы основные источники поступления этих веществ в атмосферу.*

**Ключевые слова:** *загрязнение атмосферы, стационарный источник, валовый выброс, комплексный индекс загрязнения атмосферы.*

**Введение.** Марий Эл – индустриально-аграрная республика. Основу промышленного производства Республики Марий Эл составляют предприятия машиностроительной, металлообрабатывающей, лесной, деревообрабатывающей, а также целлюлозно-бумажной промышленности. Приоритетными отраслями сельского хозяйства являются животноводство молочного направления, птицеводство и растениеводство со специализацией производства зерна, картофеля и овощей.

Основными промышленными центрами республики являются столица г. Йошкар-Ола, г. Волжск, пгт. Красногорский, г. Козьмодемьянск и г. Звенигово, с. Табашино, п. Шелангер, пгт. Советский. По объему выпускаемой продукции и количеству населения, занятого в промышленной сфере, город Йошкар-Ола занимает первое место в Республике Марий Эл среди других административных районов. Основу промышленности города составляют предприятия лесопромышленного, машиностроительного, строительного, химико-фармацевтического и дорожно-транспортного профиля.

**Цель работы** – анализ изменения качества атмосферного воздуха в Республике Марий Эл за период с 2010 по 2017 г. по данным официальных докладов об экологической ситуации в Республике Марий Эл.

**Интерпретация результатов исследования.** За последние годы в Республике Марий Эл увеличилось количество предприятий, загрязняющих атмосферу. В период с 2011 по 2017 г. в 2,4 раза возросло количество стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, охваченных федеральным статистическим наблюдением (рис. 1).

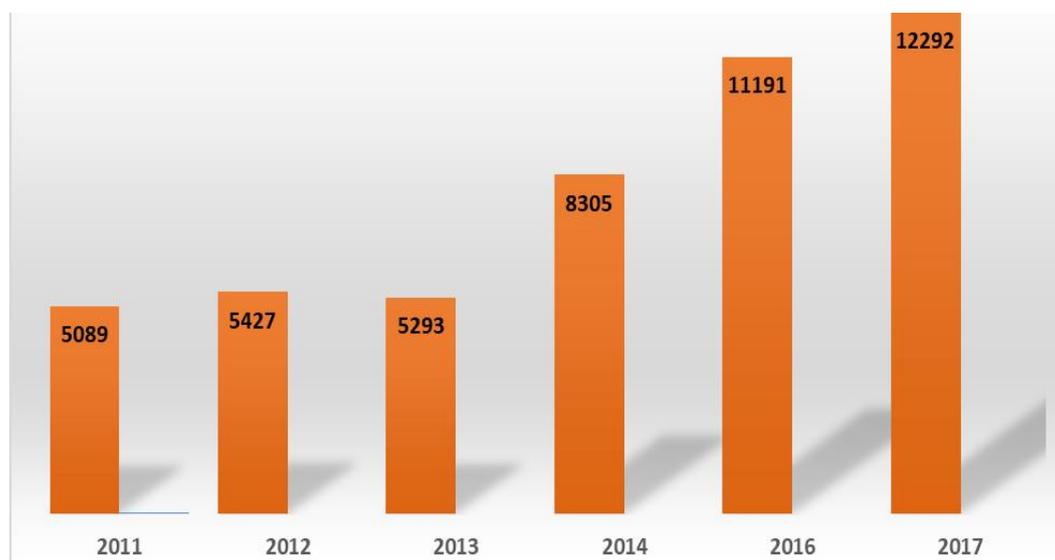


Рис. 1. Стационарные источники выбросов загрязняющих веществ

Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в Республике Марий Эл в период с 2005 по 2017 г. приведена в таблице 1.

Таблица 1

## Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух по Республике Марий Эл

Год	Выбросы от стационарных источников, тыс. т	Основные загрязняющие вещества, выбрасываемые от стационарных источников, тыс. т							Уловлено и обезврежено, тыс. т
		твердые вещества	диоксид серы	оксиды азота	оксид углерода	углеводороды (без ЛОС)	ЛОС	прочие	
2005	30,037	4,296	1,453	5,228	5,309	11,735	-	-	-
2006	35,551	4,194	1,493	5,901	5,143	17,649	-	-	-
2007	27,675	4,037	1,263	6,216	4,897	10,156	0,756	0,350	6,716
2008	38,887	6,017	1,134	6,925	4,054	18,455	1,474	0,829	6,324
2009	36,620	6,111	1,393	5,618	5,881	15,428	1,387	0,802	10,864
2010	32,643	6,116	1,362	6,455	6,172	10,486	1,305	0,747	10,252
2011	28,663	5,294	1,453	6,045	6,002	7,714	1,283	0,871	9,331
2012	34,463	5,588	0,978	5,101	6,039	14,483	1,451	0,823	9,911
2013	26,869	5,115	0,613	5,047	6,245	8,222	0,969	0,657	6,512
2014	24,619	3,840	0,615	3,996	5,078	8,046	2,503	0,541	9,470
2015	22,348	3,585	0,728	3,838	5,334	5,389	2,646	0,828	9,976
2016	36,390	3,347	1,063	4,253	5,534	18,141	2,685	1,367	8,235
2017	34,993	3,231	0,822	4,350	5,464	16,167	3,649	1,310	8,467

В 2016 г. объем валовых выбросов от стационарных источников увеличился на 16,7 %, а в 2017 г. снизился на 3,8 % и составил 34,993 тыс. тонн. При этом очистке подвержено только 24 % выбросов.

В структуре выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников преобладают газообразные и жидкие вещества – 90,8 %. Анализ качественного состава выбросов показал, что в валовых выбросах преобладают углеводороды (без ЛОС) – 46,2 %, оксид углерода – 15,6 %, оксиды азота – 12,4 %, летучие органические соединения (ЛОС) – 10,4 %.

Таблица 2

## Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ по видам экономической деятельности

№ п/п	Вид экономической деятельности	Выбросы загрязняющих веществ по годам, тыс. т							
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	1,591	1,347	1,334	1,570	1,518	1,908	2,269	2,357
2	Добыча полезных ископаемых	0,129	0,131	0,138	0,192	0,205	0,225	0,249	0,249
3	Обрабатывающие производства	5,481	5,634	4,488	5,389	4,385	3,674	4,277	4,194
4	Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	10,595	11,198	11,673	11,304	10,684	8,821	7,730	8,083
5	Транспорт и связь	16,268	12,155	8,782	14,830	8,555	7,213	4,438	17,727
6	Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	0,229	0,151	0,065	0,079	0,062	0,062	0,204	0,189
7	Здравоохранение и предоставление социальных услуг	0,113	0,065	0,065	0,068	0,064	0,064	0,088	0,088
8	Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	0,295	0,184	0,415	0,625	1,006	2,257	2,477	3,021
9	Прочие виды экономической деятельности	1,921	1,778	1,703	0,406	0,390	0,395	0,617	0,529

В 2016 г. в наибольшей степени загрязняли атмосферный воздух предприятия, работающие в сфере транспорта и связи, – 48,7 % от общих выбросов; производства и распределения электроэнергии, газа и воды – 22,2 %; обрабатывающих производств – 11,5 % (табл. 2).

На протяжении последних лет в список предприятий с наибольшим объемом валовых выбросов входят ОАО «Марийский ЦБК» (г. Волжск), ООО «Марийский НПЗ», МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1», ОАО «Марбиофарм», ОАО «Стройкерамика», ОАО «ЗПП».

Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха республики вносит автотранспорт – 62,2 % от общего объема выбросов (табл. 3). Общий парк автотранспортных средств в республике ежегодно увеличивается (рис. 2). По количеству собственных легковых автомобилей на 1000 человек Республика Марий Эл занимает 72 место в Российской Федерации. Выбросы от автотранспорта составляют в среднем 57-87 тыс. тонн в год.

Таблица 3

Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспорта

Год	Выбросы от стационарных источников, тыс. т	Выбросы от автотранспорта, тыс. т	Суммарный выброс, тыс. т	Вклад автотранспорта в суммарный выброс, %
2009	36,620	86,57	123,19	70,3
2010	32,643	87,122	119,765	72,7
2011	28,663	77,695	106,358	73,1
2012	34,463	77,113	111,576	69,1
2013	26,869	46,0	72,869	63,1
2014	24,619	57,0	81,619	69,8
2015	22,348	58,0	80,348	72,2
2016	36,390	57,4	93,790	61,2
2017	34,993	57,7	92,693	62,2

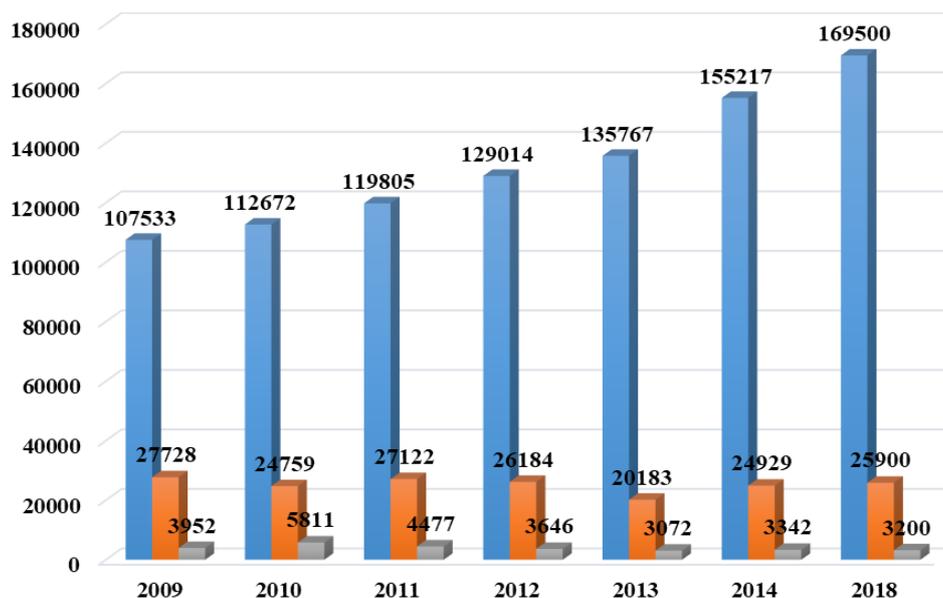


Рис. 2. Динамика численности автотранспортных средств в Республике Марий Эл

Мониторинг состояния атмосферного воздуха осуществляется ГУП РМЭ «Территориальный центр «Маргеомониторинг». В г. Йошкар-Оле находится 4 поста наблюдений, г. Волжске – 2 поста, г. Козьмодемьянске – 2 поста.

С 2014 по 2016 гг. мониторинг состояния атмосферного воздуха на территории г. Йошкар-Олы осуществлялся на четырех маршрутных постах наблюдений: Центральный парк, район ДК им. ХХХ-летия Победы; микрорайон «Нагорный», ул. Кирпичная, школа № 24; район завода ОАО «ОКТБ Кристалл», ул. Строителей – ул. Крылова; район водозабора города Йошкар-Олы, правый берег реки М. Кокшага (фоновый пост). В 2017, 2018 гг. наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Йошкар-Олы проведены на одном посту – МП «Парк Победы», район ДК им. В.И. Ленина (территория, ограниченная улицами Машиностроителей, Зарубина, Анциферова, Свердлова).

На маршрутных постах определяется содержание диоксида азота, оксида азота, диоксида серы, оксида углерода, пыли (взвешенные вещества), формальдегида, дополнительно метилмеркаптана в г. Волжске.

На основе анализа данных Государственных докладов с 2010 по 2017 г. выявлено, что Йошкар-Ола, Волжск и Козьмодемьянск относятся к числу городов с низким уровнем загрязнения атмосферы (комплексный индекс загрязнения атмосферы КИЗА < 5). Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в г. Йошкар-Оле в 2013-2018 гг., определенные на маршрутном посту МП «Парк Победы», район ДК им. В.И. Ленина, не превышали уровня ПДК и соответствовали санитарным нормам (табл. 4).

Таблица 4

Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Средняя концентрация, мг/м <sup>3</sup>						ПДК <sub>мр</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>
	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Оксид углерода	1,28	1,28	0,88	1,28	1,07	1,17	5	3
Диоксид серы	0,1120	0,0011	0,0020	0,0018	0,0019	0,0034	0,5	0,05
Диоксид азота	0,055	0,052	0,014	0,074	0,045	0,026	0,2	0,04
Оксид азота	0,035	0,034	0,009	0,052	0,024	0,011	0,4	0,06
Пыль (взвешенные вещества)	0,14	0,171	0,118	0,2	0,166	0,093	0,5	0,15
Формальдегид	0,0108	0,0036	0,0044	0,0097	0,007	0,0077	0,05	0,01
КИЗА	1,5	1,04	0,65	1,48	1,09	0,85		

С 2017 г. наметилась тенденция снижения комплексного индекса загрязнения атмосферы, определяющего вклад каждого вещества в общий уровень загрязнения. В 2018 г. КИЗА составил 0,85.

**Выводы.** Анализ данных показал, что уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Республики Марий Эл на протяжении 10 лет остается низким. Этому способствуют рельеф местности, климатические особенности, благоприятные для рассеивания примесей и низкий уровень промышленного производства.

Загрязняющие вещества, попадающие в атмосферу в процессе хозяйственной деятельности, разносятся воздушными потоками и реагируют с другими загрязнителями с образованием более токсичных примесей. Воздействие таких примесей на окружаю-

щую среду и здоровье человека иногда намного сильнее, чем действие каждого из загрязнителей в отдельности.

*Список литературы*

1. Доклад об экологической ситуации в Республике Марий Эл за 2017 год. Йошкар-Ола, 2017. 180 с.
2. Информационный отчет. Проведение мониторинга состояния атмосферного воздуха на территории городского округа «Город Йошкар-Ола». Йошкар-Ола, 2018. 46 с.
3. Информационный сборник о состоянии окружающей среды в Республике Марий Эл в 2017 г. Йошкар-Ола, 2017. 39 с.

**ASSESSMENT OF AIR QUALITY OF THE REPUBLIC OF MARI EL**

*Skorikova Lubov Aleksandrovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The purpose of this article is to assess the ambient air quality of the Republic of Mari El. The level of air pollution was assessed, the main pollutants typical for the Republic of Mari El were identified, the main sources of these substances into the atmosphere were analyzed.*

**Keywords:** *air pollution, stationary source, gross emission, complex index of air pollution.*

УДК 627.13

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ  
УСТЬЕВОГО УЧАСТКА РЕКИ БОЛЬШАЯ КОКШАГА**

*Турлов Алексей Генрихович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
TurlovAG@volgatech.net

*Предложена технология обработки результатов систематических наблюдений за перестроением устьевого участка реки Большая Кокшага, позволяющая получить детальную трехмерную модель дна на основании ограниченного числа промерных створов. Это позволяет отслеживать изменения рельефа дна по результатам последующих гидрометрических работ.*

**Ключевые слова:** *устье притока, промеры глубин, аккумуляция наносов; мониторинг дна водотока.*

**Введение.** Искусственное регулирование стока реки водохранилищами оказывает существенное влияние на русловые процессы в притоках [1]. Из-за колебаний уровней и расходов в зарегулированной реке в устьях притоков происходит интенсивное отложение наносов. Это вызывает значительные плановые деформации устьевых участков. Как правило, именно в устьях притоков находятся зоны интенсивной рекреационной деятельности. Деформационные процессы приводят к осложнению использования этих

участков для плавания маломерных судов, необходимости укрепления берегов у застроенных территорий, выполнения дноуглубительных работ и работ по обустройству пляжных зон.

На территории Республики Марий Эл наиболее характерно проявление вышеозначенных процессов в устье реки Большая Кокшага [2]. Устье данной реки находится у села Кокшайск, связанного с городом Йошкар-Ола автодорогой протяженностью 55 км. Административно Кокшайск входит в черту города и уже много лет является основным пунктом отдыха горожан на берегах реки Волга. Поэтому значительные территории вокруг устьевого участка реки Большая Кокшага застроены садовыми товариществами и индивидуальными жилыми строениями. Развитие русловых процессов создает угрозу безопасности строений, поскольку аккумуляция наносов на одних участках устья вызывает и соответственный размыв на других.

На устьевом участке реки Большая Кокшага в рамках государственной программы с 2013 года проводится мониторинг дна и берегов [3]. В 2013 году была заложена постоянная наблюдательная сеть на участке устья протяженностью около двух километров. В 2014 году сеть расширена за счет включения участков протоки реки Волга в месте впадения Большой Кокшаги. Именно на участке протоки происходит интенсивная аккумуляция наносов, что, в конечном счете, наиболее существенно влияет на плановые деформации устьевого участка. На участках мониторинга проводятся ежегодные промерные работы на закрепленных створах. По данным этих наблюдений можно оценить деформационные процессы на этих створах. Однако из-за значительной площади рассматриваемого участка и трудоемкости проведения работ густота расположения створов не позволяет оценить распределение аккумуляционных и размывных процессов на всей площади. Для этого требуется или сгущение наблюдательной сети и соответственное увеличение объемов работ, или построение математической модели для определения дополнительных расчетных профилей по результатам имеющихся наблюдений.

**Целью исследований** является разработка математической модели для аналитического сгущения наблюдательной сети и исследования руслового процесса при недостаточно частом расположении створов.

**Решаемые задачи**, направленные на достижение цели:

- изучить методики построения трехмерных моделей рельефа по данным наблюдений;
- разработать алгоритм построения трехмерной модели дна по результатам наблюдений по совокупности створов;
- реализовать методику в программной среде MathCad;
- выполнить оценку показателей рельефа дна по данной методике для устьевого участка реки Большая Кокшага по состоянию на начало ведения постоянного мониторинга.

**Математическое моделирование.** Алгоритмы формирования трехмерных поверхностей используются в программном обеспечении геоинформационных систем [4]. При этом используются такие методы получения промежуточных отметок, как средневзвешенная интерполяция по 8 или 16 направлениям, построение сетки высотных точек с последующей линейной интерполяцией.

Однако попытка использования данных систем для обработки результатов мониторинга не дает достоверного описания рельефа дна из-за недостаточной густоты точек измерения.

Предложенный алгоритм обработки данных промеров русла по профилям заключается в том, что первоначально профили разной длины с разным количеством промерных точек приводятся к профилям с одинаковым, заданным количеством промерных точек  $Nstv$  и интервалом между точками на каждом створе  $\Delta Y$ . Для этого по данным промеров средствами MathCad формируются функции зависимостей глубины от ширины:

$$Zd(t) = \text{int } \text{erp}(X^{<1>}, X^{<2>}, t). \quad (1)$$

Затем определяются глубины  $Z$  и координаты по ширине профиля  $Xs$  в расчетных точках:

$$Z = \begin{cases} \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ | z_i \leftarrow Zd[(i-1) \cdot \Delta Y, \\ | \text{continue} \\ z \end{cases} \quad (2)$$

$$Xs = \begin{cases} \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ | x_i \leftarrow (i-1) \cdot \Delta Y. \\ | \text{continue} \\ x \end{cases} \quad (3)$$

На каждом профиле определяется точка с наибольшей глубиной, соответствующая положению стрежня потока, определяется её номер  $N \max$  :

$$N1 \max = \begin{cases} n \leftarrow 1 \\ \text{for } i = 1 \in Nstr \\ | n \leftarrow 1 \quad \text{if } Z_{i-1} > Z_i. \\ | \text{continue} \\ n \end{cases} \quad (4)$$

Участки смежных профилей к обоим берегам разбиваются на одинаковое количество расчетных точек, и определяются интервалы между соседними точками  $\Delta Y(j)$  :

$$\Delta Y(j) = \begin{cases} \frac{Xs_{N \max, 1}}{Nstv - 1} & \text{if } j \leq \frac{Nstv}{2} \\ \frac{Xs_{Nstv, 1} - Xs_{N \max, 1}}{Nstv - 1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Для расчетных точек определяются координаты по ширине профиля  $Xs$  :

$$Xs = \begin{cases} x_1 \leftarrow 0 \\ \text{for } i = 2 \in Nstr \\ \quad \left| \begin{array}{l} x_i \leftarrow x_{i-1} + \Delta Y_i \cdot (i-1), \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ x \end{cases} \quad (6)$$

и по функциям (1) для этих точек определяются глубины  $Z1$  :

$$Z1 = \begin{cases} \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ \quad \left| \begin{array}{l} z_i \leftarrow Zd(Xs_i). \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ z \end{cases} \quad (7)$$

Пример профиля с расчетными точками, ориентированными относительно стрежня потока, приведен на рисунке 1.

Затем по точкам с одинаковыми номерами двух соседних профилей проводится линейная интерполяция. При этом определяются глубины  $Zj, j+1$  на всех точках заданного количества промежуточных створов  $Nx$  :

$$Z12 = \begin{cases} \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ \quad \left| \begin{array}{l} z_{i,1} \leftarrow Z1_i \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ \quad \left| \begin{array}{l} z_{i,j} \leftarrow Z1_i + (Z2_i - Z1_i) \cdot \frac{j \cdot \Delta X_1}{Lstv_1}, \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ z \end{cases} \quad (8)$$

а также расстояния до этих точек от базисной линии, связывающей все промеренные створы:

$$X12 = \begin{cases} \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ \quad \left| \begin{array}{l} x_{i,1} \leftarrow Xs1_i + Baz1 \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1 \dots Nstv \\ \quad \left| \begin{array}{l} x_{i,j} \leftarrow Xs1_i + Baz1 + [Xs2_i + Baz2 - (Xs1_i - Baz1)] \cdot \frac{j \cdot \Delta X_1}{Lstv_1}, \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ x \end{cases} \quad (9)$$

где  $Baz1$  и  $Baz2$  – расстояние от базиса до начала смежных промеренных створов.

По результатам интерполяции определяются расчетные глубины на заданном количестве промежуточных профилей. Пример формирования промежуточных профилей представлен на рисунке 2.

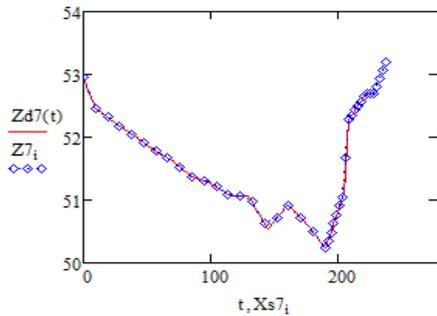


Рис. 1. Расчетные точки, ориентированные относительно срежня потока

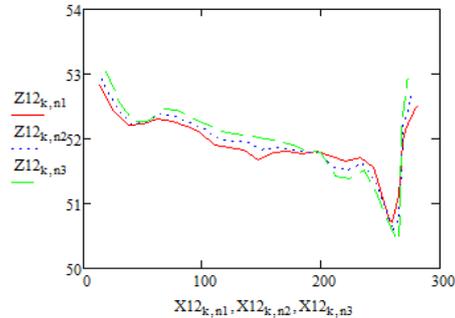


Рис. 2. Совмещенные промежуточные профили между промерными створами 1 и 2

Полученные матрицы глубин на интервалах между соседними промерными створами сшиваются в единую матрицу глубин:

$$Z17 := \text{augment}(Z12, Z23, \dots, Zj-1, j). \quad (10)$$

Аналогично формируется единая матрица расстояний вычисленных точек относительно базисной линии:

$$X17 := \text{augment}(X12, X23, \dots, Xj-1, j, Xsj + Bazj) \quad (11)$$

и матрица расстояний расположения створов относительно начала участка:

$$Y17 := \text{augment}(Y12, Y23, \dots, Xj-1, j). \quad (12)$$

В полученном поле точек с рассчитанными глубинами расстояние между смежными точками непостоянно. Это обуславливает сложность для дальнейшей обработки и сравнения полученных в разное время промеров поверхностей. Поэтому матрицы глубин приводятся к равномерной сетке с единым заданным интервалом между соседними точками  $\Delta Xras := 2$ . При этом расчетное количество точек на створе определяется по формуле

$$NstvR := \left( \text{ceil} \left( \frac{L \max}{\Delta Xras} \right) \right) + 1, \quad (13)$$

где  $L \max$  – ширина максимального створа относительно базиса.

$$Z\Delta 17 = \begin{array}{l} \text{for } i \in 1 \dots (Nx + 1) \cdot 6 + 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} z(k) \leftarrow \text{int } \text{erp}(X17^{(j)}, Z17^{(j)}, k) \\ \text{for } j \in 1 \dots NstvR \\ \quad \left| \begin{array}{l} z_{i,j} \leftarrow \begin{cases} NPU & \text{if } i \cdot \Delta Xras < X17_{1,j} \\ NPU & \text{if } i \cdot \Delta Xras > X17_{Nstv,j} \\ z \cdot (i \cdot \Delta Xras) & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ \text{continue} \end{array} \right. \\ z \end{array}$$

**Интерпретация результатов и их анализ.** По данной методике обработаны результаты промерных работ на участке протоки реки Волги у впадения реки Большой Кокшаги. Полученная на основании промеров по семи створам матрица глубин позволяет получить трехмерную модель участка, ориентированную относительно базисной линии.

На рисунке 3 показана трехмерная модель исследуемого участка с искажением вертикального масштаба. Модель позволяет определить площадь живого сечения потока для произвольного створа рассматриваемого участка. Также можно определить объемы грунта на интервале между двумя смежными точками на соседних расчетных створах. На рисунке 4 приведены кривые распределения объемов грунта между смежными точками смежных створов по ширине створов.

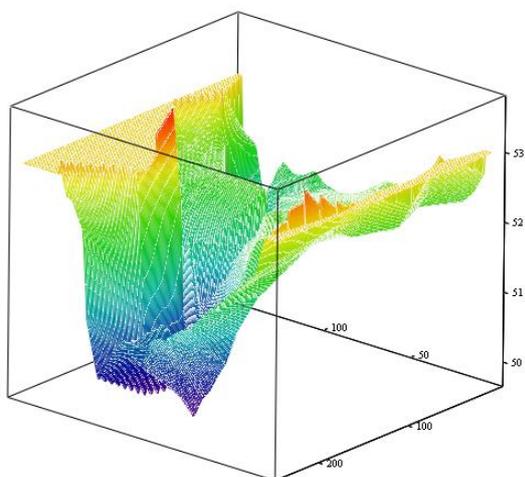


Рис. 3. Трехмерная модель протоки реки Волга в месте впадения реки Большая Кокшага

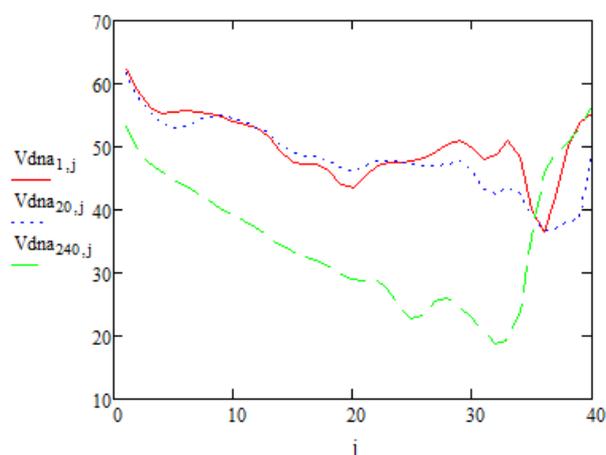


Рис. 4. Изменение объема грунта между смежными створами поперечного сечения протоки относительно условного нуля на отметке 49,0 м в БСВ

За исследуемый временной интервал можно сравнить две модели рельефа дна и получить детальное распределение зон аккумуляции наносов и размыва грунта по любому створу, а также определить объемы размывтого и намывтого грунта по зонам.

#### Выводы

1. Разработана методика, позволяющая формировать трехмерную модель рельефа дна водотока при недостаточной густоте расположения промерных створов.
2. Методика реализована в среде MathCad.
3. На основании разработанного программного обеспечения получена трехмерная модель участка протоки реки Волга по результатам мониторинга 2014 года.
4. Выполнена количественная оценка изменения площади живого сечения потока по длине протоки.
5. Выполнена количественная оценка распределения объемов донного грунта по площади протоки.

Полученные результаты являются основой для исследования деформаций устьевого участка реки Большая Кокшага с учетом мониторинговых наблюдений последующих лет.

*Список литературы*

1. Алексеевский Н. И., Кортаев В. Н. Аккумуляция наносов в устьях рек // Эрозионно-русловые системы. Москва: ИНФРА-М, 2017. С. 501–505.
2. Турлов А. Г. Влияние волны попуска Чебоксарской ГЭС на гидрологические режимы р.Волги и устьевых участков ее притоков // Тр. науч. конф. «Экология и рациональное природопользование». Санкт-Петербург, 2001.
3. Турлов А. Г., Татарников А. М. Мониторинг русловых процессов рек в Республике Марий Эл // Актуальные проблемы состояния и рационального использования водных ресурсов: материалы региональной научно-практической конференции. 2015. С. 140-145.
4. Геоинформационная система «Карта-2008». Обработка матриц и TIN-моделей. Руководство пользователя. Панорама 1991-2008. Ногинск [www.gisinfo.ru](http://www.gisinfo.ru).

**AUTOMATION OF RESEARCHES OF THE REFORMATION OF THE RIVER POSITION  
OF THE RIVER BOLSHAYA KOKSHAGA**

*Turlov Aleksey Genrikhovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*A technology is proposed for processing the results of systematic observations of the reshaping of the estuary section of the Bolshaya Kokshaga river, which allows to obtain a detailed three-dimensional model of the bottom based on a limited number of survey sites. This allows you to track changes in the bottom topography following the results of subsequent hydrometric works.*

**Keywords:** *inflow mouth, depth measurements, sediment accumulation; water bottom monitoring*

УДК 614.8:631

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА  
В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ**

*Филина Наталья Александровна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола  
[FilinaNA@volgatech.net](mailto:FilinaNA@volgatech.net)

*Приведен анализ производственного травматизма в РМЭ за период с 2010 по 2018 год. При исследовании производственного травматизма в Республике Марий Эл использовались соответствующие данные Департамента труда и занятости населения Республики Марий Эл, Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Марий Эл и Государственной инспекции труда по РМЭ. Сделано заключение о причинах травматизма.*

**Ключевые слова:** *производственный травматизм, виды травм, безопасность труда, динамика травматизма, травмоопасные отрасли.*

**Введение.** Одной из серьёзных составляющих, направленных на реализацию Концепции демографической политики в России, является создание безопасных условий труда, предупреждение профессиональных заболеваний и сокращение уровня смертности в результате несчастных случаев на производстве. В последние десятилетия в стране наблюдается улучшение в сфере производственного травматизма и профзаболеваний, но все равно достаточно высок уровень травматизма, не только производственного, среди молодых, что еще больше усугубляет демографические проблемы России. В 2017 году, например, численность населения в трудоспособном возрасте сократилась почти на миллион. В ближайшие годы такая тенденция к сокращению сохранится, что может стать серьёзным ограничением для экономического роста. Трудовые ресурсы всегда определяют основу экономики.

**Цель работы** – проанализировать состояние производственного травматизма в Республике Марий Эл и выявить его причины.

**Моделирование.** Для сохранения трудовых ресурсов Департамент труда и занятости населения Республики Марий Эл проводит комплексную работу по улучшению условий и охраны труда, профилактике и снижению производственного травматизма, профессиональной заболеваемости и сохранению здоровья работающего населения.

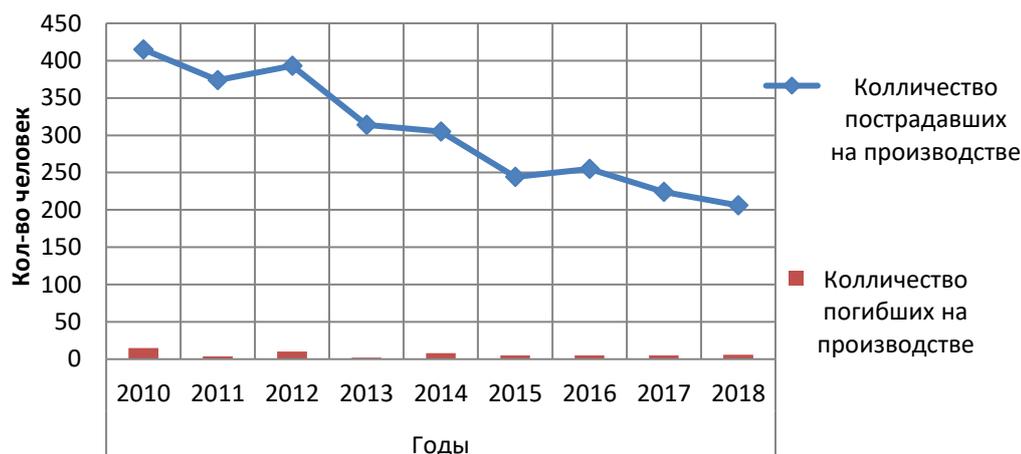
Ежегодно Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Республике Марий Эл проводится статистическое наблюдение за состоянием травматизмом на производстве. Обследованию подлежат юридические лица всех форм собственности, кроме микропредприятий, осуществляющие все виды экономической деятельности, кроме финансовой, государственного управления и обеспечения военной безопасности, социального обеспечения, образования, деятельности домашних хозяйств, деятельности экстерриториальных организаций.

В 2017 году обследованием было охвачено 764 организации, в том числе 139 субъектов малого предпринимательства, или 18,2 % от общего числа отчитавшихся организаций.

В 2018 году в обследовании участвовала 781 организация, в том числе 137 субъектов малого предпринимательства, или 17,5 % от общего числа отчитавшихся организаций.

Анализ итогов показал, что всего по обследуемым видам экономической деятельности за 2018 год в республике численность пострадавших с утратой трудоспособности на один рабочий день и более и со смертельным исходом составила 206 человек, что на 18 человек (8,0 %) меньше, чем в 2017 году.

При исследовании уровня производственного травматизма в РМЭ использовались материалы данных Департамента труда и занятости населения РМЭ, Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РМЭ и Государственной инспекции труда по РМЭ. За период 2010-2018 годов, по данным Федеральной службы государственной статистики по РМЭ, численность пострадавших на производстве составила 2730 человек, из них 60 человек погибли. На рисунке 1 представлен уровень производственный травматизм в Республике Марий Эл с 2010 по 2018 год.



**Рис. 1. Уровень производственного травматизма в РМЭ**  
(по данным Федеральной службы государственной статистики по РМЭ)

Проведен анализ производственного травматизма по видам экономической деятельности, данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Численность пострадавших на производстве по видам экономической деятельности**

Годы	Всего	из них по видам экономической деятельности						
		сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	обрабатывающие производства	строительство	транспорт и связь	операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	здравоохранение и предоставление социальных услуг	предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг
<b>Всего пострадавших на производстве</b>								
2010	415	69	195	38	35	11	46	14
2011	374	71	167	38	28	6	42	8
2012	393	86	170	39	28	9	42	5
2013	314	55	132	34	30	4	46	3
2014	305	79	124	33	24	1	28	8
2015	244	77	91	15	15	5	24	7
2016	255	78	82	15	17	4	34	7
2017	224	82	77	14	14	-	16	-
2018	206	60	71	18	14	-	26	17
<b>из них со смертельным исходом</b>								
2010	15	4	2	3	2	2	-	1
2011	4	-	-	1	1	-	-	1
2012	10	3	4	-	-	-	2	-
2013	2	1	-	-	1	-	-	-
2014	8	2	3	1	-	-	-	2
2015	5	1	1	2	-	-	-	-
2016	5	1	-	1	-	-	-	-
2017	5	3	1	1	-	-	-	-
2018	6	2	-	1	-	-	-	-

Если проанализировать данные по РФ, то самая травмоопасная сфера деятельности в России по итогам 2018 года – строительство, а в РМЭ – обрабатывающие производства. Из общего числа погибших на производстве на стройки приходится 21 %. Далее идут обрабатывающие производства (17 % погибших), сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (13 %). На четвертом месте деятельность, связанная с транспортировкой и хранением (12 %), на пятом – добыча полезных ископаемых (8 %). Всего в 2018 году на производстве произошло 5,4 тыс. несчастных случаев с тяжёлыми последствиями. Это на 13 % меньше, чем в 2017 году (6,1 тыс. случаев).

На рисунках 2 и 3 отражен уровень производственного травматизма по регионам ПФО за 2017 год.

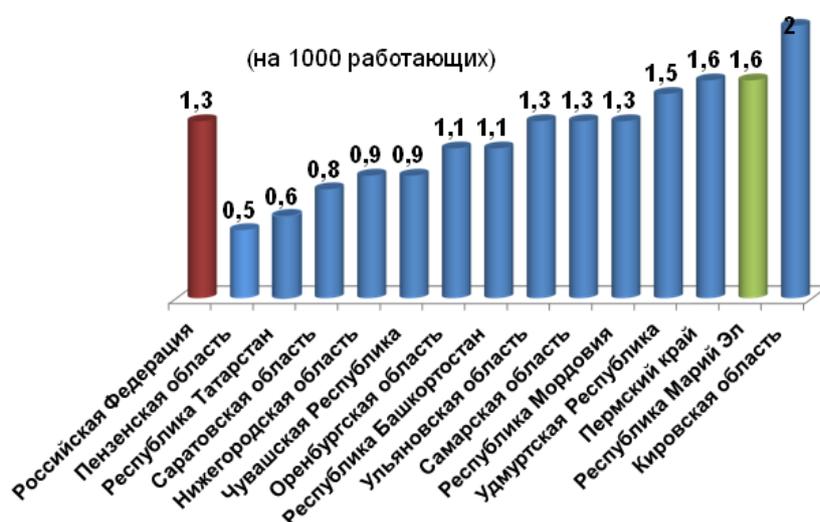


Рис. 2. Уровень производственного травматизма по регионам ПФО за 2017 год

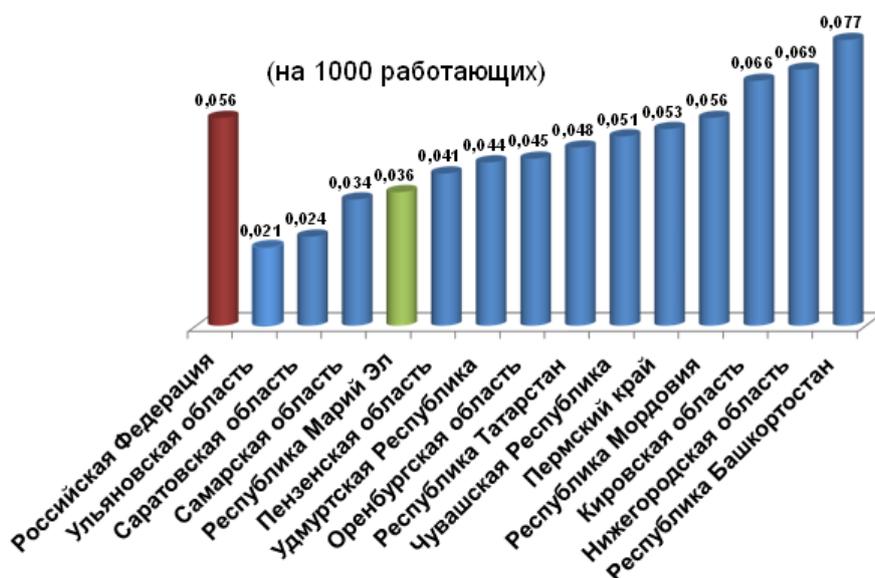


Рис. 3. Уровень производственного травматизма со смертельным исходом по регионам ПФО в 2017 году

В общей структуре причин несчастных случаев на производстве, происшедших в Республике Марий Эл в 2018 году, 87,0 % несчастных случаев обусловлены типичными причинами организационного характера и «человеческим фактором»:

- неосторожность – 80 пострадавших (28,0 % от общего количества пострадавших);
- нарушение требований безопасности – 76 пострадавших (26,3 %);
- неудовлетворительная организация производства работ – 31 пострадавший (11,0 % от общего количества пострадавших);
- нарушение правил дорожного движения – 21 пострадавших (7,3 %);
- противоправные действия других лиц – 9 пострадавших (3,1 %);
- нарушение трудовой и производственной дисциплины – 7 пострадавших (2,4 %);
- неудовлетворительное техническое состояние зданий, территории – 7 пострадавших (2,4 %);
- эксплуатация неисправного оборудования – 7 пострадавших (2,4 %);
- неприменение средств индивидуальной защиты – 6 пострадавших (2,1 %);
- недостатки в обучении безопасным приемам труда – 5 пострадавших (1,7 %).

Анализ причин несчастных случаев показывает, что подавляющее большинство причин является устранимым и носит управляемый характер.

Для сохранения жизни и здоровья работников, предупреждения несчастных случаев на производстве, а также профилактики профессиональных заболеваний необходимо проводить системную работу по обеспечению безопасных условий труда и внедрению предупредительной модели управления охраной труда. Действующая система профилактики эффективно реагирует на происшествия и устранение их причин и последствий, а не на их предупреждение.

### **Выводы**

1. В Республике Марий Эл наблюдается ежегодное снижение уровня производственного травматизма, что свидетельствует о повышении профилактических мер, реализуемых на предприятиях республики.

2. В республике создана и целенаправленно работает система профилактики производственного травматизма, обеспечивается повышение эффективности государственного, общественного и административного контроля за выполнением требований охраны труда, безопасностью выполнения работ и применением средств индивидуальной и коллективной защиты.

### *Список литературы*

1. Охрана труда в Республике Марий Эл. Информационно-аналитический вестник. Конференция по охране труда, посвященная Всемирному дню охраны труда. Йошкар-Ола: Департамент труда и занятости населения Республики Марий Эл, 2018. 34 с.
2. Статистический ежегодник «Республика Марий Эл». 2018: стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Марий Эл. Йошкар-Ола, 2018. 476 с.

## THE ANALYSIS OF OCCUPATIONAL TRAUMATISM IN THE REPUBLIC OF MARI EL

*Filina Natalia Alexandrovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The analysis of occupational injuries in the RME for the period from 2010 to 2018 is given. In the study of occupational injuries in the Republic of Mari El, we used the relevant data from the Department of Labor and Employment of the Population of the Republic of Mari El, the Territorial Authority of the Federal State Statistics Service for the Republic of Mari El and the State Labor Inspectorate for RME. A conclusion was made on the causes of injuries.*

**Keywords:** industrial injuries, types of injuries, labor safety, dynamics of injuries, hazardous industries.

УДК 35.088.2

## ПРОВЕДЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА В ПГТУ

*Филина Наталья Александровна, Фирсова Анна Евгеньевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
FilinaNA@volgatech.net, FirsovaAE@volgatech.net

*Идентифицированы вредные производственные факторы работников Поволжского государственного технологического университета. Проведен анализ условий труда преподавателей вуза.*

**Ключевые слова:** специальная оценка условий труда, идентификация, вредные производственные факторы.

**Введение.** Преподаватели высших учебных заведений, школьные учителя и воспитатели детских садов тоже попадают под категорию профессий, для которых требуется проведение специальной оценки условий труда (далее СОУТ). На первый взгляд, опасность на рабочем месте им не грозит, но специальная оценка условий труда в социальной сфере всё равно призвана доказать, что сотрудник находится в комфорте и его здоровье в безопасности. Недаром у учителей и преподавателей иные условия отпуска, дающие им возможность восстановить свои физические и моральные ресурсы.

**Цель работы** – показать процедуру проведения специальной оценки условий труда для работников Поволжского государственного технологического университета.

**Моделирование.** Оценка факторов производственной среды в вузе проводится в соответствии с установленным регламентом: администрация вуза обязана заключить договор на проведение специальной оценки условий труда с организацией, имеющий право на ее проведение, которая проанализирует состояние рабочих мест.

Данное мероприятие проводится с целью оперативного выявления вредных факторов и уровня их воздействия на работников вуза, проверки применения средств коллективной и индивидуальной защиты, их эффективности. В случае выявления независимыми экспертами вредных или опасных производственных факторов выполняются инструмен-

тальные замеры для определения уровня влияния этих факторов на работников и установления класса условий труда: оптимального, допустимого, вредного или опасного.

Класс условий труда влияет на тарификацию страхового тарифа, вносимого работодателем в Пенсионный фонд РФ за педработника или сотрудника ПГТУ, которому на законных основаниях положен более ранний выход на пенсию в связи с занятостью на вредных и (или) опасных видах производства.

Работает формула обратной пропорции: работникам, осуществляющим профессиональную деятельность в максимально комфортных и безопасных условиях, полагаются наименьшие начисления. В таком же порядке определяется круг компенсаций и гарантий, предоставляемых в соответствии с классами условий труда: длительность отпуска и рабочего дня, дополнительные финансовые начисления к ставке, установленной в соответствии с трудовым договором.

Работодателем создана комиссия по проведению специальной оценки условий труда. Количество членов комиссии является нечетным. Приказом утвержден график проведения специальной оценки условий труда. В состав комиссии включены представители работодателя, в том числе специалист по охране труда. В ПГТУ специальная оценка условий труда проводилась в два этапа – в 2015 и 2017 годах. Были изданы приказы о составе комиссии и определены рабочие места для проведения спецоценки.

Специальная оценка условий труда преподавателей, как и других рабочих мест, проводится один раз в пять лет. Как правило, условия труда в образовательных учреждениях не являются сложными и оцениваются на уровне офисных рабочих мест.

Эксперт, проводящий спецоценку, вначале идентифицирует вредные и опасные факторы. Если экспертом вредные факторы не идентифицированы, условия труда признаются допустимыми. При этом исследования и измерения вредных и (или) опасных производственных факторов не проводятся. На такие рабочие места оформляется декларация соответствия. Если же вредные и (или) опасные производственные факторы идентифицированы, комиссия принимает решение о проведении исследований и измерений данных факторов.

Процедура идентификации не предполагает измерений. Но и не запрещает эксперту, если тот сочтет нужным, провести какие-либо выборочные измерения. Их результаты не войдут в отчет о проведении спецоценки.

В ходе идентификации эксперт вправе самостоятельно предложить комиссии по СОУТ совокупность факторов производственной среды, которые могут быть измерены. При этом те же самые факторы могут замеряться в рамках производственного контроля, несмотря на то, что они уже измерялись в процессе СОУТ.

В сентябре 2017 года СОУТ в ПГТУ проводилась для 382 рабочих места. На этих местах работали 387 человек, из них 153 женщины и 4 инвалида. Всего с учетом аналогичных мест было проверено 190 рабочих мест.

На проведение специальной оценки был заключен договор с ООО «Безопасность и охрана труда» г. Чебоксары.

В комиссию по проведению СУОТ были включены следующие специалисты:  
председатель комиссии по проведению СУОТ – проректор по развитию университетского комплекса И.В. Петухов;

члены комиссии:

начальник сектора ОТ В.Л. Смирнов;

специалист СОТ С.Э. Алгаева;

начальник отдела ОТиЗ Н.А. Царегородцева;

ведущий инженер СИТО А.А. Владимиров;

начальник ЮО ИПУ А.В. Иванов;

преподаватель-организатор основ БЖД В.А. Ковтун;

эксперт организации, проводившей СОУТ, Т.В. Аливанова (номер в реестре экспертов № 2261).

В ходе СОУТ в ПГТУ рассматривались и измерялись параметры гигиенических условий труда, степень сложности и напряженности трудового процесса, уровень освещенности рабочего места.

Обратите внимание, что теперь не оцениваются:

- естественное освещение;

- яркость;

- коэффициент пульсации освещенности.

Причем прямая блескость и отраженная блескость оцениваются, но класс условий труда можно определить только по параметру «освещенность рабочей поверхности при искусственном освещении». Значение освещенности рабочей поверхности установлено СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [2].

Электромагнитные поля от ПЭВМ в рамках проведения СОУТ не идентифицируются как вредный и (или) опасный фактор и не измеряются. Однако это не отменяет возможность провести такие замеры в процессе производственного контроля.

Измерения химического фактора также проводиться не будут. Но это можно сделать во время производственного контроля.

Тяжесть трудового процесса измеряется только на рабочих местах, на которых работники выполняют обусловленные технологическим процессом (трудовой функцией) работы по поднятию и переноске грузов вручную, работы в вынужденном положении или положении стоя, при перемещении в пространстве. Поскольку у преподавателей присутствует работа стоя, то данный фактор должен оцениваться.

Напряженность трудового процесса измеряется и оценивается:

– при выполнении работ по диспетчеризации производственных процессов;

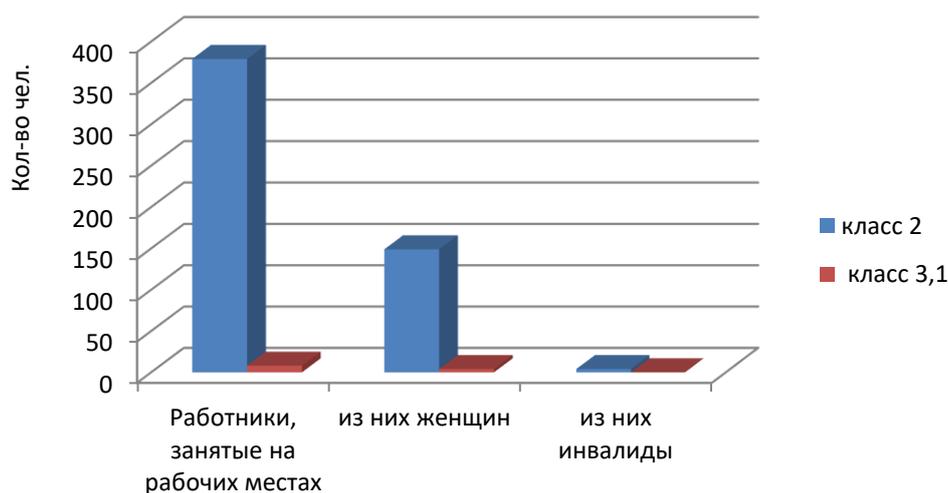
– на производственных процессах конвейерного типа;

– на рабочих местах операторов технологического (производственного) оборудования;

– при управлении транспортными средствами.

Количество параметров напряженности в Классификаторе вредных и опасных производственных факторов значительно сокращено по сравнению с Руководством Р 2.2.2006-05. Фактор напряженности из трудового процесса преподавателей также исключен [1].

На рисунке представлена сводная ведомость результатов проведения СОУТ в ПГТУ в 2017 году.



Сводная ведомость СОУТ

В ПГТУ были оценены места в нескольких подразделениях университета. Из них:

- 374 рабочих места получили оценку 2, т.е. условия труда допустимые, не требующие дополнительных мероприятий по их улучшению;
- 8 мест получили оценку 3.1, т.е. вредные условия труда 1 степени вредности (по химическому фактору). К ним отнесены три места газосварщиков и пять мест рабочих по комплексному обслуживанию и ремонту зданий, из них на четырех местах заняты женщины.

Данные рабочие места входят в список доплат к тарифной ставке (окладу) для рабочих мест с вредными (опасными) условиями труда. Им доплачивают 4 % к окладу. Также они входят в список «Рабочие места (профессии и должности), на которых выдаётся молоко или другие равноценные пищевые продукты». Три места для электрогазосварщиков входят в список «Профессии и должности, имеющие право на досрочное назначение трудовой пенсии».

**Выводы.** Если по итогам специальной оценки среда деятельности признана безопасной, ректор должен:

- организовать обязательные предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры работников;
- регулярно осуществлять контроль за состоянием микроклимата в образовательной организации;
- проводить мероприятия по поддержанию трудовой безопасности.

Список литературы

1. Приказ Минтруда России от 24 января 2014 г. № 33 «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий», введенные в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 8 апреля 2003 г. № 34.
3. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».

**CONDUCTING A SPECIAL ASSESSMENT OF LABOR CONDITIONS IN PSTU**

*Filina Natalia Alexandrovna, Firsova Anna Evgenevna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Identified harmful production factors of workers PSTU. The analysis of the working conditions of teachers of the university. The conclusion about the group of combustibility.*

**Keywords:** *special assessment of working conditions, identification, harmful production factors.*

## Сведения об авторах

*АКТУГАНОВ Анатолий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*АНТРОПОВА Анна Владимировна* – аспирант ПГТУ

*БОРОДИН Андрей Викторович* – кандидат экономических наук, зав. кафедрой информатики и системного программирования

*ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*ВЛАСОВА Наталия Александровна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства

*ВОХМИНЦЕВА Елена Валерьевна* – студент ПГТУ

*ГОГЕЛАШВИЛИ Гоча Шотаевич* – кандидат химических наук, доцент кафедры физики

*ГРУНИН Юрий Борисович* – доктор химических наук, профессор-консультант кафедры физики

*ДЕНИСОВ Сергей Александрович* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства

*ДОМРАЧЕВА Зульфия Назимовна* – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, зав. лабораторией

*ЖУРАВЛЕВ Евгений Алексеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

*ИВАНОВ Александр Владимирович* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности

*ИВАНОВ Владимир Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий

*ИВАНОВ Константин Олегович* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник

*КОНЮХОВА Татьяна Анатольевна*, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой лесоводства и лесоустройства

*КОСТРОМИН Геннадий Яковлевич* – доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий

*КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*КУЗЬМИНА Ольга Валериановна* – старший преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий

*ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович* – кандидат технических наук, профессор-консультант кафедры проектирования и производства ЭВС

*ЛАДЫЧУК Дмитрий Владимирович* – кандидат химических наук, доцент кафедры физики

*ЛЕУХИН Владимир Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры

*МАЛЬКОВ Юрий Гаврилович* – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования

*МУХАМЕТОВА Светлана Валерьевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии

*МУХОРТОВ Дмитрий Иванович* – доктор сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой лесных культур, селекции и биотехнологии

*НИКИШОВ Юрий Гаврилович* – кандидат технических наук, ветеран ПГТУ

*ОКАЧ Мария Александровна* – инженер лаборатории интродукции и акклиматизации травянистых растений Ботанического сада-института ПГТУ

*ПЕНКИН Юрий Афанасьевич* – доцент кафедры проектирования зданий

*ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич* – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*ПОЗДЕЕВ Виктор Михайлович* – кандидат технических наук, зав. кафедрой строительных конструкций и водоснабжения

*РЫБАКОВ Дмитрий Вениаминович* – магистр лесного дела, ООО «МУК «Система», г. Йошкар-Ола

*СЕВАСТЬЯНОВ Виктор Викторович*, доктор медицинских наук, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем, главный врач ГБУ РМЭ «Центр патологии речи и нейрореабилитации»

*СИДОРОВА Елена Николаевна* – старший преподаватель кафедры энергообеспечения предприятий

*СКОРИКОВА Любовь Александровна* – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности

*СМИРНОВ Алексей Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем

*СОЛОВЬЁВ Николай Павлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*ТУРЛОВ Алексей Генрихович* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*УРЖУМОВ Даниил Владимирович* – старший преподаватель кафедры информатики

*ФИЛИНА Наталья Александровна* – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности

*ФИРSOVA Анна Евгеньевна* – старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности

*ФУРМАН Яков Абрамович* – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем

*ХОЗИН Вадим Григорьевич* – доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

*ХОЗИНА Елена Вадимовна* – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории сорбционных процессов Института физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина РАН

*ЦЕЛИЩЕВА Лариса Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры физики

*ШАБДАРОВ Евгений Васильевич* – аспирант ПГТУ

*ШЕРСТНЁВА Анастасия Алексеевна* – студент ПГТУ

*ШЛЫЧКОВ Сергей Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

*ШУРГИН Алексей Иванович* – кандидат сельскохозяйственных наук, министр лесного хозяйства Кировской области

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

### ЛЕС, ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

**Власова Н. А., Шургин А. И., Рыбаков Д. В.**

Многоцелевое лесопользование: проблемы и пути решения .....	5
---	---

**Денисов С. А., Конюхова Т. А., Домрачева З. Н.**

Смена сосны и лесное хозяйство .....	11
--------------------------------------	----

**Иванов А. В.**

Горимость леса и запасы лесных горючих материалов в насаждениях Суводского лесничества Кировской области .....	16
---	----

**Мальков Ю. Г.**

Орнитологическая обстановка на территории аэропорта «Йошкар-Ола» и безопасность полетов.....	23
---	----

**Мухаметова С. В.**

Показатели плодов сортовых рябин в Ботаническом саду-институте ПГТУ .....	33
---	----

**Мухортов Д. И., Антропова А. В.**

Модификация тепличных субстратов внесением спор микоризообразующих грибов для выращивания сеянцев дуба черешчатого в контейнерах .....	37
---	----

**Никишов Ю. Г.**

Исследование процесса заполнения зева грейфера круглыми лесоматериалами и определение мощности на зачерпывание .....	43
---	----

**Окач М. А.**

Влияние агротехнических мероприятий на продуктивность луковиц гиацинта восточного .....	47
--	----

**Шлычков С. В.**

Исследование механизма диссипации для конструкций из древесины.....	52
---	----

### РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**Иванов К. О., Севастьянов В. В., Фурман Я. А.**

Принципы организации программного обеспечения для анализа электроэнцефалограммы .....	58
--	----

**Лаврентьев Б. Ф.**

Блок формирования раздражающих сигналов для системы сбора пчелиного яда «МУКШ 7» .....	64
---	----

**Шабдаров Е. В., Леухин В. Н.**

Алгоритмическая модель процесса электроискровой корректировки характеристики датчика положения дроссельной заслонки .....	71
--	----

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

**Бородин А. В.**

О постановке задачи факторизации риска  
в условиях вероятностной неопределенности..... 79

**Бородин А. В.**

Реализация политики безопасности для процессов отчужденной обработки  
аутентичной информации..... 85

**Смирнов А. В., Шерстнёва А. А.**

Разработка программного модуля расчета забойного давления с учетом значения  
уровня затрубной жидкости нефтедобывающей скважины..... 91

**Уржумов Д. В.**

Архитектура генератора тестовых сцен, содержащих групповые точечные объекты,  
с поддержкой различных методов искажения..... 96

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

**Актуганов А. Н., Поздеев В. М.**

Оценка технической эффективности применения шпренгельных балок  
для усиления железобетонных конструкций покрытия ..... 102

**Лаврентьев Б. Ф.**

Проект реконструкции центральной части г. Йошкар-Олы ..... 106

**Пенкин Ю. А.**

Рекомендации по реставрации утраченных завершений  
и других частей Церкви Пресвятой Богородицы в селе Илеть ..... 110

**Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.**

Анализ качества природных вод на основе мультипликативных функций ..... 118

**Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.**

Применение теории нечетких множеств для оценки состояния пунктов водозабора  
из водохранилищ..... 124

**Соловьёв Н. П.**

Статистические характеристики снегового покрова в Республике Марий Эл ..... 130

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Иванов В. В., Кузьмина О. В.**

Моделирование образования и исчезновения оксида азота  $NO$   
с участием радикалов  $NH$ ,  $NH_2$ ,  $OH$ ..... 136

**Введенский О. Г.**

Мероприятия по восстановлению рыбных запасов  
в условиях интенсивного освоения водохранилищ ..... 142

<b>Введенский О. Г., Вохминцева Е. В.</b> Использование переливных плотин для регулирования транзитного течения в рыбоходно-нерестовых каналах.....	150
<b>Гогелашвили Г. Ш., Ладычук Д. В., Грунин Ю. Б., Целищева Л. В.</b> Влияние жесткосвязанной воды в образцах целлюлозы различного происхождения на характеристики ЯМР.....	155
<b>Журавлев Е. А.</b> Реализация рекурсивных алгоритмов динамики для механизмов с линейной кинематической структурой .....	160
<b>Костромин Г. Я.</b> Моменты времени случайного блуждания в параллелепипеде.....	166
<b>Ладычук Д. В., Гогелашвили Г. Ш., Хозин В. Г., Хозина Е. В.</b> Исследование адсорбции молекул воды на минеральных адсорбентах импульсным методом ЯМР .....	172
<b>Скорикова Л. А.</b> Оценка качества атмосферного воздуха в Республике Марий Эл .....	176
<b>Турлов А. Г.</b> Автоматизация исследований переформирования устьевое участка реки Большая Кокшага .....	181
<b>Филина Н. А.</b> Анализ состояния производственного травматизма в Республике Марий Эл.....	187
<b>Филина Н. А., Фирсова А. Е.</b> Проведение специальной оценки условий труда в ПГТУ .....	192
Сведения об авторах .....	197

*Научное издание*

# ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 7

Серия Технологическая

Ответственный за выпуск

*Е. С. Шарапов*

Редакторы

*Л. С. Емельянова, П. Г. Павловская*

Компьютерная верстка

*С. Н. Эштыкова*

Дизайн обложки

*Н. В. Лебедь*

Переводы на английский язык предоставлены  
авторами статей

Подписано в печать 20.08.2019. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,72. Тираж 500 экз. Заказ № 0000.

Поволжский государственный технологический университет  
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии

## ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» приглашает Вас опубликовать свои статьи в сборнике «Труды ПГТУ». Сборнику присвоен Международный стандартный номер сериального издания (ISSN). Все выпуски оперативно отражаются на сайте научной электронной библиотеки (НЭБ). Сборник включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Публикуем результаты оригинальных авторских исследований (ранее нигде не печатавшихся и не переданных в другие редакции) по следующим направлениям:

- серия Технологическая (физико-математические науки; радиотехнические инфокоммуникационные и медико-биологические системы; лес, экология, природопользование; транспорт, энергетика, машиностроение; технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств; строительство и архитектура; биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды);
- серия Социально-экономическая (экономика, управление и право, философия, культурология, педагогика, психология, история, социология, политология и др.).

### Требования к оригиналам предоставляемых работ

**Основные требования к содержанию статей:** актуальность, научная новизна, практическая значимость.

#### **Структура научной статьи:**

- Ф.И.О. авторов (с указанием места работы, должности, ученой степени, звания).
- Заголовок (наименование публикации).
- Аннотация (3-4 предложения, 50-100 слов).
- Ключевые слова или словосочетания (5-10 слов).

#### **Желательно наличие в статье следующих рубрик:**

- Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
- Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации.
- Решаемые задачи, способствующие достижению цели.
- Математическое, аналитическое или иное моделирование.
- Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
- Интерпретация результатов или их анализ.
- Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающие, что цель, поставленная в работе, достигнута.
- Список используемой литературы.
- Сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке (авторы должны обеспечить аутентичный перевод).

#### **Требования к оформлению статьи:**

Статья должна быть представлена в электронном варианте и распечатанном виде.

- ✓ Объем статьи – 5 страниц формата А4 (до конца заполненных);
- ✓ основной шрифт – 12 пт Times New Roman; межстрочный интервал – одинарный;
- ✓ поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см;
- ✓ отступы в начале абзаца – 0,75 см;
- ✓ УДК оформляется в левом углу листа, светлым шрифтом, без отступа;

- ✓ нумерация страниц – внизу по центру, 12 пт;
- ✓ **НАЗВАНИЕ** статьи печатается по центру, прописными буквами, полужирным прямым шрифтом (Times New Roman, 12 пт);
- ✓ **Фамилия, Имя и Отчество авторов** (полностью) должны быть напечатаны по центру жирным курсивом, 12 пт;
- ✓ место работы, страна, город – шрифт 10 пт светлый прямой;
- ✓ электронный адрес одного из авторов – шрифт 10 пт;
- ✓ аннотация и ключевые слова – шрифт 11 пт, светлый курсив;
- ✓ основной текст статьи – с отступом в один интервал после аннотации. Выравнивание текста – по ширине; переносы ставятся автоматически. Выделения в тексте выполняются светлым курсивом;
- ✓ **заголовки рубрик** выделяются полужирным шрифтом;
- ✓ таблицы, рисунки, графики (печатаются только в черно-белом исполнении, цветные иллюстрации доступны лишь в электронной версии сборника) должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 пт, заголовки **полужирным**, по центру); таблицы и рисунки следует по возможности вставлять в текст после абзацев, содержащих ссылку на них; размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см);
- ✓ после списка литературы – сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова – на *английском языке*, шрифт 10 пт;
- ✓ *список литературы*: заголовков – строчными курсивом шрифт 11 пт, список – прямым, шрифт 11 пт;
- ✓ ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках, литература оформляется согласно ГОСТ Р 7.05-2008; количество источников – не более 10; обязательны ссылки на работы, опубликованные в последние 5-10 лет; необходимо использовать ссылки на «Вестник ПГТУ» (самоцитируемость при этом должна быть минимальной); ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

**Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.**

Управление научной и инновационной деятельности  
 Поволжского государственного технологического университета  
 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ, ауд. 402(1), т. 68-68-51,  
 e-mail: patent@volgatech.net